



Memorias de la III Reunión CDIO Latinoamérica, “El reto de la formación de ingenieros para una sociedad con nuevas expectativas”, realizada en la ciudad de Medellín (Colombia) en el año 2015

- **Estándares CDIO v. 2.0**
- **Factores claves de éxito que promueven el cambio cultural**
 - **El programa de estudio CDIO**





**Asociación Colombiana
de Facultades de Ingeniería**

Carrera 68D 25B 86 oficina 205
Edificio Torre Central, Bogotá, D. C., Colombia, Suramérica
PBX: + 57 (1) 427 3065
acofi@acofi.edu.co www.acofi.edu.co

CONSEJO DIRECTIVO

Presidencia

Universidad Nacional de Colombia, Medellín

John Willian Branch Bedoya

Vicepresidencia

Universidad de La Salle, Bogotá

Carlos R. Costa Posada

Consejeros

Universidad de Antioquia, Medellín
Universidad de Cartagena, Cartagena de Indias
Universidad de los Andes, Bogotá
Universidad del Norte, Barranquilla
Universidad del Valle, Santiago de Cali
Universidad ICESI, Santiago de Cali
Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga
Universidad Libre, Barranquilla
Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira

Carlos Alberto Palacio Tobón
Miguel García Bolaños
Eduardo Behrentz Valencia
Javier Páez Saavedra
Carlos Arturo Lozano Moncada
Gonzalo Vicente Ulloa Villegas
Ricardo Alfredo Cruz Hernández
Yussy Arteta Peña
Alberto Ocampo Valencia

Director Ejecutivo

Luis Alberto González Araujo

Revisora Fiscal

Luz Mery Cuervo Garzón

ORGANIZACIÓN ADMINISTRATIVA

Asistentes de Proyectos

José Miguel Solano Araujo
Simón Andrés De León Novoa
Janneth Pineda Molina
Ariel Palomino Ulloa
Marcela Granados Martínez
Yessika López Palacios
Marcela Castiblanco García
Hernán Reyes Díaz

Asistente operativa y de tesorería

Contador

Auxiliar Contable

Secretaria

Auxiliares de Oficina

Diciembre de 2015

Impreso en Colombia

Producción Gráfica

Opciones Gráficas Editores Ltda.

Tels: 51 (1) 224 1823 - 57 (1) 430 1962 Bogotá

www.opcionesgraficas.com

Las opiniones expresadas en este libro no son necesariamente las de ACOFI ni las de CDIO

Indice

Presentación	5
I. Estándares CDIO v. 2.0 (Con rúbricas personalizadas)	9
II. Factores claves de éxito que promueven el cambio cultural	27
III. El programa de estudio cdio (4° nivel de detalle)	33
IV. Ejemplos de resultados de aprendizaje	45
V. Anexo : the CDIO syllabus v. 2.0 “An updated statement of goals for engineering education”	49

PRESENTACIÓN

La forma de dirigir las facultades y de enseñar ingeniería tiene constantes variaciones debido a las nuevas necesidades y requerimientos de la sociedad. Aspectos como el acelerado cambio tecnológico, la competitividad y la innovación hacen parte ya de los retos para las facultades, escuelas y programas de ingeniería y deben abordarlos para su planeación y para desarrollar su quehacer.

La iniciativa CDIO (Concebir – Diseñar – Implementar – Operar) es liderada por un importante consorcio internacional de facultades de ingeniería que han reconocido la necesidad de reformar su orientación estratégica, su currículo, su proceso de enseñanza-aprendizaje y su relación con la industria, frente a las nuevas realidades de la ingeniería en el mundo.

CDIO propone rediseñar los currículos de ingeniería para que los egresados logren concebir, diseñar, implementar y operar productos, procesos y sistemas con visión holística y se eduquen para lograr el desarrollo permanente de sus competencias disciplinares y personales. Se busca una educación basada en contextos reales de ingeniería, en la cual el contacto con la ciencia, la tecnología, la innovación y la realidad de una localidad, región o país se constituyan en fundamentales.

Varias universidades latinoamericanas en la presente década se han vinculado a la iniciativa CDIO y para el año 2015 se escogió a Colombia para la III Reunión CDIO Latinoamérica, la cual se realizó con la organización de la Escuela de Ingeniería de Antioquia (EIA) y la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI). En esta reunión, con el título “El reto de la formación de ingenieros para una sociedad con nuevas expectativas”, profesores y directivos académicos analizaron, reflexionaron y debatieron sobre los procesos de orientación estratégica y de enseñanza - aprendizaje para la ingeniería en América Latina.

Estas memorias presentan los documentos de base analizados durante la Reunión y se constituyen en una herramienta muy valiosa para aportar en los procesos de aseguramiento de calidad para los programas de ingeniería.

Luis Alberto González Araujo
Director Ejecutivo ACOFI

Carlos Alberto Rodríguez Lalinde
Decano Académico EIA

I.

ESTÁNDARES CDIO v. 2.0

Antecedentes

En el mes de octubre del año 2000 se lanzó un importante proyecto internacional con el objetivo de reformar la educación de pregrado en ingeniería. Este proyecto, llamado la Iniciativa CDIO, se ha ido ampliando hasta abarcar hoy día programas de ingeniería en todo el mundo. Esta Iniciativa pretende proporcionar a los alumnos una formación que ponga énfasis en los fundamentos de la ingeniería, enmarcándolos en el contexto de Concebir-Diseñar-Implementar-Operar sistemas, productos y servicios del mundo real. La Iniciativa CDIO tiene tres objetivos generales –formar alumnos que sean capaces de:

1. Dominar un profundo conocimiento operativo de los fundamentos técnicos.
2. Ser líderes en la creación y la operación de nuevos productos y sistemas.
3. Comprender la importancia y el impacto estratégico de la investigación y del desarrollo tecnológico en la sociedad.

La Iniciativa CDIO genera una serie de recursos que cada programa de estudios puede adaptar e implementar para alcanzar estos objetivos. Estos recursos promueven y se basan en un currículum organizado alrededor de disciplinas que se apoyan unas a otras y que están entrelazadas con experiencias de aprendizaje relacionadas con habilidades personales e interpersonales y con habilidades de construcción de productos, procesos y sistemas. Los alumnos reciben una educación rica en experiencias de diseño-implementación y en aprendizaje activo y experiencial. Este aprendizaje tiene lugar tanto en el aula de clases como en espacios de trabajo y aprendizaje más modernos. En este documento se ofrece uno de estos recursos, los Estándares CDIO. Para más información acerca de la Iniciativa CDIO, se puede consultar el sitio web <http://www.cdio.org>.

Los Estándares CDIO

En enero del año 2004, la Iniciativa CDIO adoptó 12 estándares para describir los programas CDIO. Estos principios rectores se redactaron a modo de respuesta a las inquietudes manifestadas por directores de programas de ingeniería, ex-alumnos y socios vinculados a la industria que querían saber cómo pueden reconocerse los programas CDIO y a los egresados de éstos. Y así, como resultado, los estándares CDIO definen los rasgos que permiten distinguir un programa CDIO, sirven como directrices para la reforma y la evaluación de programas educacionales, generan puntos de referencia y metas que pueden aplicarse internacionalmente, y proporcionan un marco para la mejora continua. Estos estándares también pueden ser usados como marco de referencia a efectos de certificación.

Los 12 Estándares CDIO abordan la filosofía del programa (Estándar 1), el desarrollo del currículum (Estándares 2, 3 y 4), las experiencias de diseño-implementación y los espacios de trabajo (Estándares 5 y 6), los métodos de enseñanza y aprendizaje (Estándares 7 y 8), el desarrollo docente (Estándares 9 y 10), y la evaluación (Estándares 11 y 12). Cada estándar se presenta con una descripción, una fundamentación y una rúbrica.

Descripción. La descripción presenta detalladamente el enunciado del estándar, explicando su significado. Define algunos términos importantes y aporta información sobre los antecedentes.

Fundamentación. La fundamentación pone de relieve las razones para la adopción del estándar. Estas razones se basan en investigaciones procedentes del ámbito de la educación y en las experiencias prácticas llevadas a cabo en los ámbitos de la ingeniería y la educación superior que han tenido los mejores resultados. La fundamentación explica en qué aspectos ese estándar en particular hace que el enfoque CDIO sea diferente a otros intentos de reforma educacional.

Rúbrica. Una rúbrica es una pauta o guía de puntuación que pretende evaluar niveles de desempeño.

La rúbrica de los estándares CDIO es una escala de calificación de seis puntos que se usa para medir el nivel de cumplimiento del estándar. Los criterios de cada nivel se basan en la descripción y la fundamentación del estándar. La rúbrica hace hincapié en la naturaleza de las diversas evidencias que indican cumplimiento en cada nivel. Las rúbricas que se presentan en este documento son jerárquicas, es decir que cada nivel sucesivo incluye los niveles anteriores o más bajos. Por ejemplo, el Nivel 5, que apunta al proceso continuo de mejora, supone que el Nivel 4 ya ha sido alcanzado.

Autoevaluación de cumplimiento

La evaluación del cumplimiento de los Estándares CDIO es un proceso de auto-reporte. Un determinado programa de ingeniería reúne sus propias evidencias y utiliza las rúbricas para calificar su estatus con respecto a cada uno de los 12 estándares CDIO. Si bien las rúbricas están personalizadas para cada estándar, todas ellas siguen el patrón de la siguiente rúbrica general.

Rúbrica General:

Escala	Criterio
5	Las evidencias relacionadas con el estándar se revisan regularmente y se usan para hacer mejoras.
4	Hay evidencias documentadas de la completa implementación y del impacto del estándar en los diferentes componentes e integrantes del programa.
3	La implementación del plan para abordar el estándar está en funcionamiento entre los diferentes componentes e integrantes del programa.
2	Existe un plan en marcha para abordar el estándar.
1	Hay conciencia de la necesidad de adoptar el estándar y existe un proceso en marcha para llegar a abordarlo.
0	No existe planificación documentada o ninguna actividad relacionada con el estándar.

Estándar 1

El contexto

.....
Adopción del principio de que el desarrollo y la utilización –Concebir, Diseñar, Implementar y Operar– del ciclo vital completo de productos, procesos y sistemas constituyen el contexto necesario para la formación en ingeniería.

Descripción: Un programa CDIO se basa en el principio de que el desarrollo y la utilización de productos, procesos y sistemas constituyen el contexto apropiado para la formación en ingeniería. *Concebir-Diseñar-Implementar-Operar* es un modelo del ciclo vital completo del producto, proceso o sistema. La etapa *Concebir* comprende definir las necesidades del cliente; considerar la tecnología, la estrategia empresarial y las regulaciones; y, por último, desarrollar el plan conceptual, el plan técnico y el plan de negocio. La etapa *Diseñar* se centra en la creación del diseño, esto es, los planos, representaciones y algoritmos que describen lo que será después implementado. La etapa *Implementar* se refiere a la transformación del diseño en el producto, proceso o sistema, incluyendo su manufactura, codificación, testeo y validación. Y la última etapa, *Operar*, se refiere a la utilización del producto o proceso implementado para entregar el resultado esperado; esta etapa incluye el mantenimiento, el perfeccionamiento y el retiro final del sistema.

El ciclo vital del producto, proceso o sistema se considera el contexto adecuado para la formación en ingeniería dado que es parte del marco cultural o entorno en el que se enseñan, practican y aprenden el conocimiento técnico y otras habilidades. Se considera que un programa adopta este principio cuando existe un acuerdo explícito entre los académicos para realizar la transición a un programa CDIO y un apoyo por parte de los líderes del programa para respaldar las iniciativas de reforma.

Fundamentación: los ingenieros que recién comienzan su desarrollo profesional deberían ser capaces de Concebir-Diseñar-Implementar-Operar complejos productos, procesos y sistemas de ingeniería con valor añadido, y de hacerlo en entornos modernos de trabajo, basados en equipos. Deberían ser capaces de participar en procesos y contribuir al desarrollo de productos de ingeniería, y de hacerlo cumpliendo los estándares profesionales de cualquier organización. Ésta es la esencia de la profesión de la ingeniería.

Rúbrica:

Escala	Criterio
5	Los grupos de evaluación reconocen que CDIO es el contexto del programa de ingeniería y usan este principio como guía para la mejora continua.
4	Existen evidencias documentadas de que el principio CDIO es el contexto del programa de ingeniería y ha sido totalmente implementado.
3	CDIO ha sido adoptado como el contexto para el programa de ingeniería y se está implementando en uno o más años del programa.
2	Existe un plan explícito de transición al contexto CDIO para la formación en ingeniería.
1	Se reconoce la necesidad de adoptar el principio de que CDIO es el contexto adecuado para la formación en ingeniería y se ha iniciado un proceso para llegar a abordarlo.
0	No existe ningún plan para adoptar el principio de que CDIO sea el contexto adecuado para la formación en ingeniería.

Estándar 2

Resultados de aprendizaje

Resultados de aprendizajes específicos y detallados, referidos a habilidades personales e interpersonales y a habilidades de construcción de productos, procesos y sistemas, así como al conocimiento de la disciplina, consistentes con los objetivos del programa y validados por todos los actores del programa.

Descripción: El conocimiento, las habilidades y las actitudes que se esperan como resultado de la formación en ingeniería –esto es, los resultados de aprendizaje– están codificados en el *Syllabus CDIO*. Estos resultados de aprendizaje detallan lo que los alumnos deberían saber y ser capaces de hacer al finalizar el programa de ingeniería. Además de los resultados de aprendizaje vinculados al conocimiento técnico y disciplinario (Sección 1), el *Syllabus CDIO* especifica resultados de aprendizaje relacionados con habilidades personales e interpersonales y con habilidades de construcción de productos, procesos y sistemas. Los resultados de aprendizaje personales (Sección 2) apuntan al desarrollo afectivo y cognitivo de los estudiantes, por ejemplo, el razonamiento propio de la ingeniería y la resolución de problemas, la experimentación y el descubrimiento del conocimiento, el pensamiento sistémico, el pensamiento creativo, el pensamiento crítico y la ética profesional. Los resultados de aprendizaje interpersonales (Sección 3) apuntan a las interacciones personales y grupales, tales como el trabajo en equipo, el liderazgo, la comunicación en la lengua propia y la comunicación en lenguas extranjeras. Las habilidades de construcción de productos, procesos y sistemas (Sección 4) apuntan a concebir, diseñar, implementar y operar sistemas en un contexto empresarial, comercial o social.

Los resultados de aprendizaje son revisados y validados por los actores principales del programa, o sea, por las partes interesadas, teniendo en cuenta su coherencia con los objetivos del programa y su relevancia para la práctica profesional de la ingeniería. Alentamos a los diferentes programas a que personalicen el *Syllabus CDIO* de acuerdo a sus respectivas características. Por otra parte, las partes interesadas también pueden ayudar a determinar el nivel esperado de competencia, o nivel de logro, para cada resultado de aprendizaje.

Fundamentación: Establecer resultados de aprendizaje específicos contribuye a la tarea de asegurar que los estudiantes adquieran una base apropiada para su futuro. Además, diversas organizaciones profesionales de ingenieros y representantes de la industria han identificado los atributos clave que se esperan de los ingenieros que comienzan su carrera, tanto en el área técnica como en el área profesional. Y, por lo demás, muchos organismos de evaluación y acreditación solicitan que los programas de ingeniería identifiquen los resultados de los programas en términos de conocimientos, habilidades y actitudes de sus egresados.

Rúbrica:

Escala	Criterios
5	Los grupos de evaluación revisan y actualizan regularmente los resultados de aprendizaje del programa, de acuerdo a los cambios en las necesidades de los grupos interesados.
4	Los resultados de aprendizaje del programa están alineados con la misión y la visión institucionales y se han establecido niveles de competencia para cada resultado.
3	Los resultados de aprendizaje del programa han sido validados con los principales grupos interesados, incluyendo académicos, alumnos, ex-alumnos y representantes de la industria.
2	Se ha establecido un plan para incorporar enunciados explícitos de resultados de aprendizaje.
1	Se reconoce la necesidad de crear o modificar los resultados de aprendizaje del programa y se ha iniciado un proceso en esta línea.
0	No existen resultados de aprendizaje explícitos que cubran conocimientos, habilidades personales e interpersonales y habilidades de construcción de productos, procesos y sistemas.

Estándar 3

Currículum integrado

Un currículum diseñado de manera que los cursos disciplinarios se apoyen unos en otros y en el que existe un plan explícito para integrar las habilidades personales e interpersonales y las habilidades de construcción de productos, procesos y sistemas.

Descripción: Un currículum integrado incluye experiencias de aprendizaje que conducen a la adquisición de habilidades personales e interpersonales y de habilidades de construcción de productos, procesos y sistemas (Estándar 2), entrelazadas con el aprendizaje de los conocimientos de la disciplina y su aplicación en la ingeniería profesional. Los cursos disciplinarios se apoyan unos en otros al hacer conexiones explícitas entre contenidos y resultados de aprendizaje relacionados entre sí. Existe un plan explícito que señala de qué manera se llevarán a cabo la integración de habilidades y las conexiones multidisciplinares, por ejemplo, mediante el establecimiento de correspondencias entre los resultados de aprendizaje específicos y los cursos y actividades co-curriculares que forman parte del currículum.

Fundamentación: La enseñanza de habilidades personales, interpersonales, profesionales y de construcción de productos, procesos y sistemas no debería considerarse como un añadido a un currículum que ya estaba completo, sino como una parte integral de éste. Para alcanzar los resultados de aprendizaje esperados en el conocimiento disciplinario y en las habilidades, el currículum y las experiencias de aprendizaje deben hacer un uso dual del tiempo disponible. Los académicos tienen un papel activo en el diseño del currículum integrado: son ellos quienes sugieren los vínculos disciplinarios apropiados y las oportunidades de abordar ciertas habilidades específicas en sus respectivos ámbitos de docencia.

Rúbrica:

Escala	Criterio
5	Los actores principales del programa revisan de manera regular el currículum integrado y hacen recomendaciones y ajustes de acuerdo a sus necesidades.
4	Existen evidencias de que las habilidades personales, interpersonales y de construcción de productos, procesos y sistemas se abordan en todos los cursos responsables de su implementación.
3	Las habilidades personales, interpersonales y de construcción de productos, procesos y sistemas están integradas en uno o más años del currículum.
2	Las partes interesadas han aprobado un plan curricular que integra el aprendizaje de la disciplina y las habilidades personales, interpersonales y de construcción de productos, procesos y sistemas.
1	Se reconoce la necesidad de analizar el currículum y se está estableciendo una correspondencia inicial entre resultados de aprendizaje disciplinarios y habilidades.
0	En el programa no existen integración de habilidades ni disciplinas que se apoyen unas en otras.

Estándar 4

Introducción a la ingeniería

Un curso introductorio que proporciona el marco para la práctica de la ingeniería en la construcción de productos, procesos y servicios y que introduce las habilidades personales e interpersonales básicas.

Descripción: El curso introductorio, que generalmente es uno de los primeros cursos obligatorios en los programas, proporciona el marco para la práctica de la ingeniería. Este marco es un esbozo, a grandes rasgos, de las tareas y responsabilidades de un ingeniero y del uso del conocimiento disciplinario en la ejecución de esas tareas. Los estudiantes se involucran en la práctica de la ingeniería mediante la resolución de problemas y ejercicios simples de diseño, de manera individual y en equipo. El curso incluye también el conocimiento de habilidades personales e interpersonales, habilidades y actitudes que son cruciales al comienzo del programa para poder preparar a los estudiantes para experiencias más avanzadas de construcción de productos, procesos y sistemas. Por ejemplo, los estudiantes pueden participar en grupos pequeños para la realización de ejercicios, a modo

de preparación para su participación en equipos de desarrollo más amplios.

Fundamentación: Los cursos introductorios tienen como objetivo estimular el interés de los estudiantes y reforzar su motivación por el campo de la ingeniería mediante el énfasis en la aplicación de las disciplinas centrales más relevantes de la ingeniería. Generalmente, los estudiantes eligen las carreras de ingeniería porque quieren construir cosas; los cursos introductorios pueden sacar provecho de ese interés. Asimismo, los cursos introductorios brindan la oportunidad de un comienzo temprano en el desarrollo de las habilidades básicas descritas en el *Syllabus CDIO*.

Rúbrica:

Escala	Criterios
5	El curso introductorio es evaluado y revisado regularmente, basándose en la retroalimentación por parte de los alumnos, los profesores y otras partes interesadas.
4	Existen evidencias documentadas de que los estudiantes han logrado los resultados de aprendizaje esperados del curso introductorio.
3	Se ha implementado un curso introductorio que incluye experiencias de aprendizaje de ingeniería y que introduce habilidades personales e interpersonales básicas.
2	Se ha aprobado un plan para implementar un curso de Introducción a la Ingeniería que proporcione un marco para la práctica de la ingeniería.
1	Se reconoce la necesidad de un curso introductorio que proporcione el marco para la práctica de la ingeniería y se ha iniciado un proceso para abordar esa necesidad.
0	No existe ningún curso de Introducción a la Ingeniería que proporcione un marco para la práctica e introduzca las habilidades clave.

Estándar 5

Experiencias de diseño- implementación

.....

Un currículum que contiene dos o más experiencias de diseño-implementación –al menos, una en un nivel básico y otra en un nivel avanzado.

.....

Descripción: La expresión *experiencia de diseño-implementación* se refiere a una variedad de actividades de ingeniería que son clave para el proceso de desarrollo de nuevos productos y sistemas. Están incluidas aquí, por ejemplo, todas las actividades descritas en el Estándar 1 para las etapas *Diseñar e Implementar*, y también los aspectos propios del diseño conceptual de la etapa *Concebir*. En las experiencias de diseño-implementación integradas en el currículum, los alumnos desarrollan las habilidades de construcción de productos, procesos y sistemas, así como la capacidad de aplicación de la ciencia propia de la ingeniería. Las experiencias de diseño-implementación se consideran básicas o avanzadas de acuerdo a su alcance, complejidad y ubicación dentro de la secuencia del programa. Por ejemplo, los productos y sistemas más simples se introducen al principio del programa, mientras que las experiencias de diseño-implementación más complejas aparecen en cursos posteriores, diseñados para ayudar a los estudiantes a integrar los conocimientos y las habilidades adquiridos en cursos y actividades de aprendizaje anteriores. Oportunidades para concebir, diseñar, implementar y operar productos, procesos

y sistemas pueden incluirse también en actividades co-curriculares obligatorias como, por ejemplo, en proyectos de investigación de pregrado o en periodos de prácticas profesionales.

Fundamentación: Las experiencias de diseño-implementación están estructuradas y secuenciadas para promover el éxito temprano en la práctica de la ingeniería. La iteración de experiencias de diseño-implementación y el aumento del nivel de complejidad en el diseño fortalecen la comprensión del proceso de desarrollo de productos, procesos y sistemas en los alumnos. Las experiencias de diseño-implementación proporcionan, además, una base sólida sobre la que construir una comprensión conceptual más profunda de las habilidades disciplinares. El énfasis en la construcción de productos y en la implementación de procesos en contextos realistas brinda a los alumnos diversas oportunidades para establecer vínculos entre el contenido técnico que están aprendiendo y sus propios intereses de desarrollo profesional.

Rúbrica:

Escala	Criterios
5	Las experiencias de diseño-implementación son evaluadas y revisadas regularmente, basándose en la retroalimentación por parte de los alumnos, los profesores y otras partes interesadas.
4	Existen evidencias documentadas de que los estudiantes han logrado los resultados de aprendizaje esperados de las experiencias de diseño-implementación.
3	Se están implementando, al menos, dos experiencias de diseño-implementación de complejidad creciente.
2	Existe un plan para desarrollar una experiencia de diseño-implementación en un nivel básico y en un nivel avanzado.
1	Se ha llevado a cabo un análisis de necesidades para identificar cuáles son las instancias más oportunas para incluir experiencias de diseño-implementación en el currículum.
0	No existen experiencias de diseño-implementación en el programa de ingeniería.

Estándar 6

Espacios de trabajo

Espacios de trabajo propios de la ingeniería, talleres y laboratorios que apoyan y estimulan el aprendizaje práctico de la construcción de productos, procesos y sistemas, el conocimiento disciplinario y el aprendizaje social.

Descripción: El entorno físico de aprendizaje incluye espacios de aprendizaje tradicionales, por ejemplo, salas de clase, auditorios, salas de conferencia, salas de seminario, pero también talleres de ingeniería y laboratorios. Los talleres y los laboratorios apoyan el aprendizaje de las habilidades de construcción de productos, procesos y sistemas y, simultáneamente, el aprendizaje de los conocimientos disciplinarios. Estos espacios hacen hincapié en un aprendizaje práctico en el que los estudiantes se involucran directamente en su propio aprendizaje y facilitan instancias de aprendizaje social, esto es, escenarios en los que los estudiantes pueden aprender unos de otros e interactuar con diversos grupos. La creación de nuevos espacios de trabajo, o la remodelación de laboratorios ya existentes, dependerá del tamaño del programa y los recursos de la institución.

Fundamentación: Los talleres y otros espacios de trabajo que apoyan y estimulan el aprendizaje práctico son recursos fundamentales para aprender a diseñar, implementar y operar productos, procesos y sistemas. Los estudiantes que tienen acceso a herramientas de ingeniería, software y laboratorios modernos tienen oportunidades de desarrollar los conocimientos, las habilidades y las actitudes en las que se basan las competencias de construcción de productos, procesos y sistemas. Estas competencias se desarrollan de manera óptima en espacios de trabajo que estén centrados en el estudiante, que sean fáciles de utilizar por parte del usuario, accesibles e interactivos.

Rúbrica:

Escala	Criterios
5	Los grupos de evaluación revisan de manera regular la efectividad y el impacto de los espacios de trabajo, talleres y laboratorios en el aprendizaje y elaboran recomendaciones para mejorarlos.
4	Los espacios de trabajo propios de la ingeniería apoyan y estimulan plenamente todos los aspectos del aprendizaje práctico de conocimientos y de habilidades.
3	Se están implementando los planes y algunos espacios, nuevos o remodelados, están ya en uso.
2	Los organismos competentes han aprobado los planes para remodelar o construir espacios de trabajo y talleres de ingeniería adicionales.
1	Se reconoce la necesidad de contar con espacios de trabajo y talleres de ingeniería que apoyen y estimulen actividades de aprendizaje práctico de conocimientos y habilidades y se ha iniciado un proceso para abordar esta necesidad.
0	Los espacios de trabajo o talleres son inadecuados o insuficientes para apoyar y fomentar las habilidades prácticas, los conocimientos y el aprendizaje social.

Estándar 7

Experiencias de aprendizaje integrado

Experiencias de aprendizaje integrado que conducen a la adquisición de conocimientos disciplinarios, de habilidades personales e interpersonales y también de habilidades de construcción de productos, procesos y sistemas.

Descripción: Las experiencias de aprendizaje integrado son enfoques pedagógicos que promueven, de manera simultánea, el aprendizaje de conocimientos disciplinarios, de habilidades personales e interpersonales y de habilidades de construcción de productos, procesos y sistemas. Incorporan problemas de la ingeniería profesional a contextos donde coexisten con problemas disciplinarios. Por ejemplo, en un mismo ejercicio, los estudiantes pueden considerar el análisis de un producto, el diseño del producto y la responsabilidad social del diseñador del producto. Los socios vinculados a la industria, los ex-alumnos y otros actores clave suelen ser de mucha ayuda para encontrar ejemplos de tales ejercicios.

Fundamentación: El diseño del currículum y los resultados de aprendizaje, indicados en los Estándares

2 y 3 respectivamente, sólo pueden llevarse a cabo si existe un enfoque pedagógico acorde que haga un uso dual del tiempo de aprendizaje del alumno. Es más, es muy importante que los alumnos reconozcan a los académicos de ingeniería como modelos de ingenieros profesionales, de los que pueden aprender no sólo los conocimientos de la disciplina, sino también las habilidades personales e interpersonales y las habilidades de construcción de productos, procesos y sistemas. Con las experiencias de aprendizaje integrado, los académicos pueden ser más efectivos en su tarea de ayudar a los estudiantes a aplicar el conocimiento disciplinario a la práctica de la ingeniería y pueden prepararlos mejor para cumplir con las exigencias de su ejercicio profesional.

Rúbrica:

Escala	Criterios
5	Se evalúa y revisa de manera regular la integración de resultados de aprendizaje y actividades en los cursos.
4	Existen evidencias del impacto de las experiencias de aprendizaje integrado a lo largo del currículum.
3	Se están implementando experiencias de aprendizaje integrado en diversos cursos a lo largo del currículum.
2	Se han aprobado programas de curso que incluyen resultados de aprendizaje y actividades que unen habilidades personales e interpersonales con conocimientos de la disciplina.
1	Los programas de los cursos han sido revisados a la luz de la planificación del currículum integrado.
0	No existen evidencias de aprendizaje integrado de disciplinas y habilidades.

Estándar 8

Espacios de trabajo

Enseñanza y aprendizaje basados en métodos de aprendizaje activo y experiencial.

Descripción: Los métodos de aprendizaje activo involucran a los estudiantes directamente en actividades de reflexión y de resolución de problemas. Se da menos relevancia a la transmisión pasiva de información y más a la participación de los alumnos en la manipulación, la aplicación, el análisis y la evaluación de ideas. En los cursos que se basan en cátedras o clases magistrales, el aprendizaje activo puede fomentarse mediante las discusiones en parejas o en pequeños grupos, las demostraciones, los debates, las preguntas que apuntan a conceptos importantes y la retroalimentación por parte de los alumnos acerca de lo que están aprendiendo. El aprendizaje activo se considera experiencial cuando los estudiantes asumen roles que simulan la práctica profesional de la ingeniería, por ejemplo, en proyectos de diseño, implementación, simulaciones o estudios de casos.

Fundamentación: Los alumnos, al estar involucrados en la reflexión sobre ciertos conceptos, particularmente sobre nuevas ideas, y al verse obligados a dar una respuesta abierta, no sólo aprenden más sino que además reconocen por sí mismos qué aprenden y cómo lo aprenden. Este proceso ayuda a incrementar la motivación de los estudiantes para alcanzar los resultados de aprendizaje del programa y ayuda también a crear hábitos de aprendizaje continuo. Con los métodos de aprendizaje activo, los profesores pueden ayudar a sus alumnos a establecer conexiones entre conceptos clave y facilitar la aplicación de este conocimiento a nuevos escenarios.

Rúbrica:

Escala	Criterios
5	Los grupos de evaluación revisan de manera regular el impacto de los métodos de aprendizaje activo y elaboran recomendaciones para la mejora continua.
4	Existen evidencias documentadas del impacto de los métodos de aprendizaje activo en el aprendizaje de los estudiantes.
3	Los métodos de aprendizaje activo se están implementando a lo largo del currículum.
2	Existe un plan para incluir los métodos de aprendizaje activo en diversos cursos a lo largo del currículum.
1	Existe conciencia de los beneficios del aprendizaje activo y está en proceso la revisión y comparación de los métodos de aprendizaje activo.
0	No existen evidencias de métodos de aprendizaje activo y experiencial.

Estándar 9

Fortalecimiento de la competencia de los académicos

Acciones que fortalecen la competencia de los académicos en habilidades personales e interpersonales y en habilidades de construcción de productos, procesos y sistemas.

Descripción: Los programas CDIO dan apoyo al cuerpo de académicos para mejorar la competencia de éstos en habilidades personales e interpersonales y en habilidades de construcción de productos, procesos y sistemas, descritas en el Estándar 2. Estas habilidades se desarrollan de mejor manera en contextos de práctica profesional de la ingeniería. La naturaleza y el alcance del desarrollo docente varían según los recursos y las intenciones de los distintos programas e instituciones. Algunos ejemplos de acciones que fortalecen la competencia de los académicos son: facilitar permisos o excedencias para trabajar en la industria durante un tiempo, establecer relaciones de colaboración con colegas procedentes de la industria en proyectos de investigación y educación, incluir el ejercicio profesional de la ingeniería como criterio para la contratación de nuevos académicos y el ascenso de los académicos ya contratados, y realizar en la universidad experiencias de desarrollo profesional.

Fundamentación: Si se pretende que los académicos enseñen un currículum de habilidades personales e interpersonales y de habilidades de construcción de productos, procesos y sistemas, integradas con el conocimiento disciplinario, tal como se describe en los Estándares 3, 4, 5 y 7, entonces los académicos, como colectivo, tienen que ser competentes en esas habilidades. Los profesores de ingeniería suelen ser expertos en la investigación y en la base de conocimiento de sus respectivas disciplinas, pero también suelen tener una experiencia bastante limitada en el ejercicio de la ingeniería en el contexto industrial y comercial. Además, el rápido ritmo de la innovación tecnológica requiere una actualización continua de las habilidades como ingeniero. Los académicos tienen que fortalecer sus conocimientos y habilidades dentro de la ingeniería para poder proporcionar a sus alumnos ejemplos que sean relevantes y también para poder ser modelos de ingenieros contemporáneos.

Rúbrica:

Escala	Criterios
5	La competencia de los académicos en habilidades personales, interpersonales y de construcción de productos, procesos y sistemas se evalúa regularmente y se actualiza cuando es necesario.
4	Existen evidencias de que el cuerpo académico es competente en habilidades personales, interpersonales y de construcción de productos, procesos y sistemas.
3	Los miembros del cuerpo académico participan en actividades de desarrollo docente que se enfocan en habilidades personales, interpersonales y de construcción de productos, procesos y sistemas.
2	Existe un plan sistemático de desarrollo docente en habilidades personales, interpersonales y de construcción de productos, procesos y sistemas.
1	Se han llevado a cabo un análisis de necesidades y un estudio evaluativo de las competencias de los académicos.
0	No existen programas o prácticas que fortalezcan las competencias de los académicos en habilidades personales, interpersonales y de construcción de productos, procesos y sistemas.

Estándar 10

Fortalecimiento de la competencia docente de los académicos

Acciones que fortalecen la competencia de los académicos para ofrecer experiencias de aprendizaje integrado, usar métodos de aprendizaje activo y experiencial, y evaluar el aprendizaje de sus alumnos.

Descripción: Un programa CDIO proporciona apoyo a sus académicos para mejorar la competencia de éstos en experiencias de aprendizaje integrado (Estándar 7), en aprendizaje activo y experiencial (Estándar 8) y en evaluación del aprendizaje de los alumnos (Estándar 11). La naturaleza y el alcance de estas prácticas de desarrollo docente variarán de acuerdo a las características de los programas y las instituciones. Algunos ejemplos de acciones que fortalecen la competencia docente de los académicos son: apoyo y fomento de la participación de los académicos en programas de desarrollo docente, tanto dentro de la universidad como fuera de ella, organización de foros donde los académicos puedan compartir ideas y prácticas que hayan tenido buenos resultados, dar relevancia a la evaluación del desempeño docente, y adoptar

como criterio para la contratación el uso de métodos de enseñanza efectivos.

Fundamentación: Si se pretende que los académicos enseñen y evalúen de una manera diferente, nueva, como se describe en los Estándares 7, 8 y 11, es necesario que se les proporcionen oportunidades de desarrollar y mejorar estas competencias. Muchas universidades tienen servicios y programas de desarrollo docente que pueden colaborar de manera entusiasta con académicos procedentes de programas CDIO. Por otra parte, si los programas CDIO quieren poner un énfasis especial en la importancia de la enseñanza, el aprendizaje y la evaluación, deben comprometer los recursos adecuados para el desarrollo docente en estos ámbitos.

Rúbrica:

Escala	Criterios
5	La competencia de los académicos en métodos de enseñanza, aprendizaje y evaluación se revisa regularmente y se actualiza cuando es necesario.
4	Existen evidencias documentadas de que el cuerpo de académicos es competente en métodos de enseñanza, aprendizaje y evaluación.
3	Los miembros del cuerpo académico participan en actividades de desarrollo docente que se enfocan en métodos de enseñanza, aprendizaje y evaluación.
2	Existe un plan sistemático de desarrollo docente en métodos de enseñanza, aprendizaje y evaluación.
1	Se han llevado a cabo un análisis de necesidades y un estudio evaluativo de las competencias docentes de los académicos.
0	No existen programas o prácticas que fortalezcan las competencias docentes de los académicos.

Estándar 11

Evaluación del aprendizaje

Evaluación del aprendizaje de los alumnos tanto en habilidades personales, interpersonales y de construcción de productos, procesos y sistemas como en conocimientos disciplinarios.

Descripción: La evaluación del aprendizaje de los alumnos es la medición del grado que cada alumno alcanza en los resultados de aprendizaje específicos. Generalmente, los profesores realizan esta evaluación en el marco de sus respectivos cursos. La evaluación efectiva del aprendizaje utiliza una variedad de métodos que se corresponden de manera adecuada con los resultados de aprendizaje que apuntan al conocimiento disciplinario y también a las habilidades personales, interpersonales y de construcción de productos, procesos y sistemas, tal como se describen en el Estándar 2. Entre estos métodos podemos encontrar, por ejemplo, pruebas orales y escritas, observaciones del desempeño del alumno, escalas de calificación o puntuación, reflexiones de los estudiantes, diarios o bitácoras, portafolios, evaluación entre pares y auto-evaluación.

Fundamentación: Si valoramos las habilidades personales e interpersonales y las habilidades de construcción de productos, procesos y sistemas, y las

incorporamos al currículum y a las experiencias de aprendizaje, entonces debemos contar con procesos de evaluación efectivos para medirlas. Tener categorías diferentes de resultados de aprendizaje requiere tener también métodos de evaluación diferentes. Por ejemplo, los resultados de aprendizaje relacionados con el conocimiento disciplinario pueden ser evaluados mediante pruebas orales o escritas, mientras que aquellos relacionados con las habilidades de diseño-implementación se pueden medir de una mejor manera mediante observaciones registradas del desempeño de los alumnos. El uso de métodos de evaluación variados se adapta a una gama más amplia de estilos de aprendizaje y, además, aumenta la confiabilidad y la validez de los datos de la evaluación. Como resultado de lo anterior, se podrá determinar el logro que los alumnos han alcanzado en cada resultado de aprendizaje con una mayor confianza y seguridad.

Rúbrica:

Escala	Criterios
5	Los grupos de evaluación revisan de manera regular el uso de los métodos de evaluación del aprendizaje y elaboran recomendaciones para la mejora continua.
4	Los métodos de evaluación del aprendizaje se utilizan de manera efectiva en los cursos a lo largo del currículum.
3	Los métodos de evaluación del aprendizaje se han implementado a lo largo del currículum.
2	Existe un plan para incorporar los métodos de evaluación del aprendizaje a lo largo del currículum.
1	Se reconoce la necesidad de mejorar los métodos de evaluación del aprendizaje y se está llevando a cabo la revisión de su uso actual.
0	Los métodos de evaluación del aprendizaje son inadecuados o insuficientes.

Estándar 12

Evaluación del programa

Un sistema que evalúa el programa completo usando estos doce estándares como puntos de referencia y comparación y que entrega retroalimentación a los alumnos, a los académicos y a otros actores involucrados con el objetivo de seguir mejorando de manera continua.

Descripción: La evaluación del programa es un juicio de valor sobre el programa en general, basado en las evidencias de los avances que se hayan realizado en el recorrido hacia la consecución de los objetivos del programa. Un programa CDIO debe ser evaluado con relación a estos 12 Estándares CDIO. Las evidencias para la valoración del programa se pueden reunir a partir de evaluaciones de los cursos, reflexiones de los profesores, entrevistas a alumnos de nuevo ingreso y a alumnos de último año, informes de evaluadores externos y estudios de seguimiento con la participación de egresados y empleadores. Estas evidencias pueden ser compartidas con los académicos, los estudiantes, los administradores del programa, los ex-alumnos y otros actores involucrados. Esta retroalimentación constituye la base sobre la que tomar decisiones acerca del programa y sobre la que fundar los planes de mejora continua.

Fundamentación: Una de las funciones clave de la evaluación del programa es determinar la efectividad y la eficiencia del programa en su consecución de los objetivos deseados. Las evidencias reunidas durante el proceso de evaluación del programa sirven también de base para un programa continuo de mejora. Por ejemplo, si en una entrevista a alumnos de último año la mayoría de los estudiantes manifiestan que no fueron capaces de alcanzar algunos resultados de aprendizaje específicos, se podría poner en marcha un plan para identificar la raíz del problema e implementar los cambios necesarios para solucionarlo. Y, por otra parte, se debe tener en cuenta que muchos evaluadores externos y organismos de acreditación exigen una evaluación del programa que sea regular y consistente.

Rúbrica:

Escala	Criterios
5	La mejora continua y sistemática se basa en los resultados de la evaluación del programa, procedentes de fuentes variadas y reunidos mediante múltiples métodos.
4	Los métodos de evaluación del programa se usan de manera efectiva por parte de todos los grupos interesados.
3	Se están implementando los métodos de evaluación del programa en la totalidad de éste, con el objetivo de reunir datos procedentes de los alumnos, los académicos, la dirección del programa, los ex-alumnos y otros grupos involucrados.
2	Existe un plan para llevar a cabo la evaluación del programa.
1	Se reconoce la necesidad de evaluar el programa y se está realizando una revisión y comparación de los métodos de evaluación.
0	La evaluación del programa es inadecuada o inconsistente.

II.

FACTORES CLAVES DE ÉXITO QUE PROMUEVEN EL CAMBIO CULTURAL

(Tomado de: Factores Claves de
Éxito que Promueven el Cambio
Cultural - CDIO)

1. Comprendiendo la necesidad del cambio

Cuando se empieza un proceso de cambio, es vital que todos comprendan la necesidad del cambio y se comprometan en el proceso.

- Referencias externas de los ex-alumnos en la industria, comités de evaluación, líderes de opinión y autoridades.
- Competencia y benchmarking de programas de pares.
- Actitud de “Podemos hacerlo mejor” y no de “Está roto ó dañado, y debemos repararlo”.
- Disponibilidad de financiamiento externo.
- Contexto de cambio, es decir, acreditación, el Acuerdo de Bolonia.

2. Liderazgo desde arriba

El compromiso del líder es vital. El apoyo activo y visible de aquellos niveles que están por encima del líder, también es importante.

- El director del departamento o programa que lidere el esfuerzo.
- Un equipo fuerte de personas claves del programa.
- Fuerte apoyo del decano, director de escuela, rector, vice rector.

3. Crear una visión

Es útil si el líder comunica una visión de cómo se abordará la necesidad urgente.

- Dar un balance apropiado al plazo de la visión.
- Puede ser útil comenzar con la visión CDIO y trabajar desde allí.
- Crear una visión a partir de las descripciones de los ingenieros contemporáneos.

4. Apoyo de los primeros adoptantes

En cualquier población, sobre cualquier materia, habrá algunos que se inclinan a intentar nuevos enfoques.

- Identificar y captar a los primeros adoptantes.
- Entregar oportunidades y recursos a los primeros adoptantes y celebrar sus éxitos.
- Los primeros adoptantes atraerán a otros, con su ejemplo.
- Identificar a los mejores profesores y miembros respetados de la comunidad.
- Pedir a los estudiantes y a los pares identificar a los profesores innovadores.
- Anunciar oportunidades para todos y ver quién responde.

5. Éxitos tempranos

Es importante lograr algunos éxitos visibles tempranamente que atraigan el interés y que estimulen los esfuerzos de todos.

- El cambio educacional tiende a ser espiral y sucesivo.
- Es mejor hacer un experimento rápido o un estudio piloto que hablar de esto por años.
- Resultados positivos de experimentos y estudios piloto atraerán apoyo e interés.
- Planificar para obtener resultados rápidamente – en un período académico o menos.
- Elegir experimentos de alta visibilidad y amplio impacto.

Creando momentum en las actividades centrales del cambio

6. Alejarse de las suposiciones

Es necesario lograr que el equipo se aleje de sus suposiciones tradicionales de qué y cómo se deben hacer las cosas. El cambio requiere una voluntad para pensar fuera de la caja.

- Recurrir al profesionalismo de los ingenieros.
- Entregar evidencia de qué se puede hacer y lo que están haciendo otros.
- Discutir posiciones que son independientes de las creencias personales.
- Proponer una planificación muy agresiva y luego retroceder a una más modesta.
- Involucrar a los estudiantes que puedan incentivar a los adoptantes lentos a que se muevan.

7. Incluir a los estudiantes como agentes de cambio

Los estudiantes pueden entregar una valiosa retroalimentación sobre los cambios, especialmente si ellos comprenden la motivación que hay detrás de los cambios. Ellos pueden estimular a los docentes en el proceso de cambio.

- Planificar actividades que hagan sentir a los estudiantes más cómodos con los cambios.
- Incluir a los estudiantes en la planificación de las actividades para lograr que otros estudiantes se interesen.

8. Involucramiento y pertenencia

Debido a que, a la larga, será necesario que todos estén involucrados en el proceso de cambio, es mejor comenzar tempranamente. Los programas académicos son de “propiedad” y ejecutados por una amplia gama de docentes, quienes deben estar satisfechos, si no entusiasmados, con el cambio para poder asumirlo.

- Trabajar como un comité de todos, con pequeños grupos de trabajo para el proceso de planificación.
- Tomarse un tiempo extra para reflexionar y debatir, preferentemente fuera del área de trabajo.
- Entregar tareas importantes a los escépticos para ganárselos.

9. Recursos adecuados

Aunque es poco probable que existan nuevos recursos significativos para el programa reformado en régimen normal, el proceso de cambio no se puede llevar a cabo al margen. Los recursos, en términos de tiempo y apoyo interino deben estar disponibles para aquéllos que participan en la reforma.

- Proporcionar tiempo liberado de la enseñanza o de otras actividades.
- Entregar apoyo adicional de enseñanza a aquéllos que estén dispuestos a experimentar.
- Planificar proyectos de verano.

Institucionalizar el Cambio

10. Reconocimientos e incentivos para los docentes

En cualquier organización, se logra aquella conducta que es recompensada. Crear tanto la percepción como la realidad de incentivos y reconocimiento.

- Entregar reconocimiento y premios por enseñar.
- Premiar con estatus especial por enseñanza distinguida e innovación.
- Reconocer los logros en enseñanza en las promociones y en publicaciones académicas.
- Incluir la enseñanza en las metas anuales y en la evaluación del desempeño.
- Reconocer a los docentes, a través de premios externos, por ejemplo, la Academia Nacional de Ingeniería (EE.UU.).

11. Cultura de aprendizaje de los docentes

Irónicamente, muchas universidades no tienen una cultura en la que se valore el aprendizaje por parte de los docentes. Crear la expectativa y establecer el estándar de que el aprendizaje para toda la vida es vital para los docentes, no sólo en sus disciplinas, sino que en otros aspectos de sus profesiones, incluyendo habilidades CDIO y de enseñanza.

- Dar permisos a los docente para desarrollo profesional.
- Hacer circular y discutir publicaciones relevantes.
- Pedir a los docentes que elaboren planes de desarrollo profesional anuales.
- Crear oportunidades de aprendizaje para los docente en el programa.

12. Expectativas de los estudiantes y requerimientos académicos

Los estudiantes son los clientes y beneficiarios inmediatos de la educación. Un programa tiene una sola oportunidad de hacer una buena impresión.

- Entregar descripciones claras del programa a los estudiantes desde el comienzo.
- Establecer la expectativa de que se requiere que los estudiantes sean participantes activos de su propio aprendizaje.
- Compartir los resultados de aprendizaje esperados con los estudiantes.

III.

EL PROGRAMA DE ESTUDIO CDIO

(4° nivel de detalle)

1. Conocimiento técnico y razonamiento

1.1. Conocimiento de ciencias subyacentes

1.1.1. (Definido por el programa)

1.2. Conocimiento fundamental de ingeniería básica

1.2.1. (Definido por el programa)

1.3. Conocimiento fundamental de INGENIERÍA AVANZADA, métodos y herramientas

1.3.1. (Definido por el programa)

2. Habilidades y atributos personales y profesionales

2.1. Analizar y resolver problemas de ingeniería

2.1.1. Identificación y formulación de problemas

- Evaluar datos y síntomas
- Analizar suposiciones y fuentes de sesgo
- Demostrar fijación de prioridades de temas en el contexto de los objetivos generales
- Formular un plan de ataque (incorporando soluciones modelo, analíticas y numéricas, análisis cuantitativo, experimentación y consideración de la incertidumbre)

2.1.2. Modelos

- Emplear suposiciones para simplificar sistemas y entornos complejos
- Escoger y aplicar modelos conceptuales y cualitativos
- Escoger y aplicar modelos cuantitativos y simulaciones

2.1.3 Valoración y análisis cuantitativo

- Calcular órdenes de magnitud, límites y tendencias

- Aplicar pruebas de coherencia y errores (límites, unidades, etc.)
- Demostrar la generalización de soluciones analíticas

2.1.4. Análisis bajo condiciones de incertidumbre

- Extraer información incompleta y ambigua
- Aplicar modelos de probabilidades y estadísticos de eventos y secuencias
- Practicar análisis de costo-beneficio y riesgos de ingeniería
- Discutir análisis de decisiones
- Listar márgenes y reservas

2.1.5. Resolución de problemas y recomendaciones

- Sintetizar soluciones de problemas
- Analizar resultados esenciales de soluciones y someter datos a prueba
- Analizar y reconciliar divergencias en resultados
- Formular un resumen de recomendaciones
- Evaluar posibles mejoras del proceso de resolución de problemas

2.2 Experimentación y descubrimiento de conocimiento

2.2.1 Formulación de hipótesis

- Elegir cuestiones críticas a ser examinadas
- Formular hipótesis que se pondrán a prueba
- Discutir controles y grupos de control

2.2.2. Estudio de materiales impresos y electrónicos

- Escoger estrategia de investigación de materiales impresos
- Demostrar capacidad de búsqueda e identificación de información empleando herramientas de biblioteca (catálogos en línea, bases de datos, motores de búsqueda)

- Demostrar capacidad de clasificar información primaria
- Cuestionar la calidad y la fiabilidad de la información
- Identificar los elementos esenciales y las innovaciones contenidos en la información
- Identificar interrogantes de investigación que no han sido respondidos
- Listar citas de materiales de consulta

2.2.3. Indagación experimental

- Formular el concepto y la estrategia experimental
- Discutir las precauciones cuando se emplean seres humanos en experimentos
- Ejecutar el diseño del experimento
- Ejecutar los protocolos de prueba y los procedimientos experimentales
- Ejecutar mediciones experimentales
- Analizar e informar datos experimentales
- Comparar datos experimentales con los modelos disponibles

2.2.4. Prueba y defensa de hipótesis

- Discutir la validez estadística de los datos
- Discutir las limitaciones de los datos empleados
- Preparar conclusiones apoyadas por datos, necesidades y valores
- Evaluar posibles mejoras del proceso de descubrimiento de conocimiento

2.3 Pensamiento sistémico

2.3.1 Pensar holísticamente

- Identificar y definir un sistema, su conducta y sus elementos
- Emplear métodos interdisciplinarios que aseguren que se entienda el sistema desde todas las perspectivas pertinentes
- Identificar el contexto social, empresarial y técnico del sistema

- Identificar las interacciones externas del sistema y el impacto de la conducta sobre el sistema

2.3.2. Interacciones en sistemas

- Discutir las abstracciones necesarias para definir y hacer un modelo de un sistema
- Identificar las propiedades de conducta y funcionales (intencionales y no intencionales) que surjan del sistema
- Identificar las interfaces importantes entre los elementos
- Reconocer la adaptación evolutiva a lo largo del tiempo

2.3.3. Establecer prioridades y concentración

- Ubicar y clasificar todos los factores que sean pertinentes al sistema como un todo
- Identificar los factores que impulsan desde el todo
- Explicar adjudicaciones de recursos para resolver temas de impulso

2.3.4. Compensaciones, decisiones y equilibrio en la resolución

- Identificar tensiones y factores para resolver mediante compensaciones
- Escoger y emplear soluciones que equilibren diversos factores, resuelvan tensiones y optimicen el sistema como un todo
- Describir soluciones flexibles comparadas con óptimas a lo largo de la vida útil del sistema
- Evaluar posibles mejoras de la manera en que se pensó sobre el sistema

2.4 Destrezas y actitudes personales

2.4.1 Iniciativa y disposición a asumir riesgos

- Identificar las necesidades y oportunidades de iniciativa

- Discutir los posibles riesgos y beneficios de una acción
- Explicar los métodos y los tiempos de la iniciación de un proyecto
- Demostrar liderazgo en nuevos emprendimientos, con un sesgo hacia la acción apropiada
- Practicar acción definitiva, entrega de resultados e informar sobre las acciones

2.4.2. Perseverancia y flexibilidad

- Demostrar confianza en sí mismo, entusiasmo y pasión
- Demostrar la importancia de la ardua labor, de la intensidad y de prestar atención a los detalles
- Demostrar adaptación al cambio
- Demostrar disposición a y habilidad de trabajar independientemente
- Demostrar disposición a trabajar con otros y a considerar y aceptar diferentes puntos de vista
- Demostrar aceptación de las críticas y reacción positiva
- Discutir el equilibrio entre la vida personal y profesional

2.4.3. Pensamiento creativo

- Demostrar conceptualización y abstracción
- Demostrar síntesis y generalización
- Ejecutar el proceso de invención
- Discutir el papel de la creatividad en el arte, la ciencia, las humanidades y la tecnología

2.4.4. Pensamiento crítico

- Analizar el enunciado del problema
- Escoger soluciones y argumentos lógicos
- Evaluar las pruebas que apoyen
- Ubicar perspectivas, teorías y hechos contradictorios
- Identificar falacias lógicas
- Poner a prueba hipótesis y conclusiones

2.4.5 Conciencia de los conocimientos, las destrezas y las actitudes personales

- Describir las destrezas, los intereses, los puntos fuertes y las actitudes personales
- Discutir la extensión de las habilidades personales y la responsabilidad personal de mejorarse a sí mismo para sobreponerse a puntos débiles importantes
- Discutir la importancia de la profundidad y la amplitud del conocimiento

2.4.6. Curiosidad y aprendizaje continuo

- Discutir la motivación para la autoeducación continua
- Demostrar destrezas de autoeducación
- Discutir el estilo de aprendizaje personal
- Discutir la formación de relaciones con mentores

2.4.7. Gestión del tiempo y los recursos

- Discutir la fijación de prioridades de las tareas
- Explicar la importancia y/o la urgencia de las tareas
- Explicar la ejecución eficiente de las tareas

2.5 Destrezas y actitudes profesionales

2.5.1. Ética, integridad, responsabilidad y rendición de cuentas

- Demostrar las normas y los principios éticos personales
- Demostrar el coraje de actuar conforme a los principios a pesar de la adversidad
- Identificar la posibilidad de conflicto entre los imperativos profesionalmente éticos
- Demostrar comprensión de que es aceptable cometer errores, pero que es necesario asumir la responsabilidad de los mismos
- Practicar adjudicación debida de crédito a los colaboradores
- Demostrar dedicación a servir

2.5.2. Conducta profesional

- Discutir lo que representa una presencia profesional
- Explicar la cortesía profesional
- Identificar costumbres y normas internacionales de contacto interpersonal

2.5.3. Planificación proactiva de la carrera personal

- Discutir la visión del futuro personal
- Explicar redes con profesionales
- Identificar la cartera propia de destrezas profesionales

2.5.4. Actualidad de conocimiento en el campo de la ingeniería

- Discutir el impacto que pueden tener los nuevos descubrimientos científicos
- Describir el impacto social y técnico de nuevas tecnologías e innovaciones
- Discutir la familiaridad con las prácticas y la tecnología actuales en el ámbito de la ingeniería
- Explicar los vínculos entre la teoría y la práctica de la ingeniería

3. Destrezas interpersonales: trabajo en equipo y comunicación

3.1 Trabajo en equipo

3.1.1 Formación de equipos efectivos

- Identificar las etapas de la formación y el ciclo de vida de los equipos
- Interpretar tareas y procesos de equipos
- Identificar papeles y responsabilidades de los equipos
- Analizar los objetivos, las necesidades y las características (estilos de trabajo, diferencias, culturales) de los miembros del equipo
- Analizar los puntos fuertes y débiles del equipo

- Discutir las reglas de confidencialidad, rendición de cuentas e iniciativa del equipo

3.1.2. Operación de equipos

- Escoger metas y fechas
- Ejecutar la planificación y la facilitación de reuniones efectivas
- Aplicar las reglas del equipo
- Practicar comunicación efectiva (escuchar activamente, colaborar, proporcionar y obtener información)
- Demostrar poder hacer comentarios positivos y efectivos
- Practicar la planificación, programación y ejecución de un proyecto
- Formular soluciones de problemas (creatividad y toma de decisiones)
- Practicar negociación y resolución de conflictos

3.1.3. Expansión y evolución del equipo

- Discutir estrategias de reflexión, evaluación y autoevaluación
- Identificar destrezas para el mantenimiento y el progreso del equipo
- Identificar destrezas para el progreso individual dentro del equipo
- Explicar estrategias para la comunicación del equipo y la preparación de materiales escritos.

3.1.4 Liderazgo

- Explicar las metas y los objetivos del equipo
- Practicar la gestión del proceso del equipo
- Practicar estilos de liderazgo y de facilitación (dirigir, capacitar, apoyar, delegar)
- Explicar métodos de motivación (incentivo, ejemplos, reconocimiento, etc.)
- Practicar representar el equipo a terceros
- Describir el papel de mentores y asesores

3.1.5. Formación de equipos técnicos

- Describir el trabajo en diferentes tipos de equipos
- Equipos con disciplinas mixtas (incluyendo no de ingeniería)
- Equipos pequeños comparados con equipos grandes
- Distancia, distribuidos y entornos electrónicos
- Demostrar colaboración técnica con los miembros del equipo

3.2 Comunicación efectiva

3.2.1 Estrategia de comunicación

- Analizar la situación de comunicación
- Escoger objetivos de comunicaciones
- Analizar las necesidades y la composición del público
- Analizar el contexto de la comunicación
- Escoger una estrategia de comunicación
- Escoger la combinación apropiada de medios
- Escoger un estilo de comunicación (proponer, repasar, colaborar, documentar, enseñar)
- Seleccionar el contexto y la organización

3.2.2. Estructura de comunicación

- Formular argumentos lógicos y persuasivos
- Formular una estructura apropiada y una relación entre ideas
- Escoger pruebas de apoyo pertinentes, dignas de credibilidad y correctas
- Practicar concisión, nitidez, precisión y claridad del lenguaje
- Analizar factores retóricos (tales como el sesgo del público)
- Identificar comunicaciones entre disciplinas y culturas

3.2.3 Comunicación por escrito

- Demostrar coherencia y flujo al redactar
- Practicar escribir con ortografía, puntuación y gramática correctas
- Demostrar diagramación del documento

- Demostrar redacción técnica
- Aplicar diferentes estilos de redacción (informal, memorandos formales, informes, etc.)

3.2.4. Comunicación electrónica y multimedia

- Demostrar preparación de presentaciones electrónicas
- Identificar las normas vinculadas al uso de correo electrónico, correo de voz y conferencias por video
- Aplicar diferentes estilos electrónicos (tablas, red, etc.)

3.2.5. Comunicación gráfica

- Demostrar trazado de esquemas y dibujo
- Demostrar construcción de tablas y gráficos
- Interpretar versiones y dibujos técnicos

3.2.6 Presentación oral y comunicación interpersonal

- Practicar preparar presentaciones y medios de apoyo con lenguaje, estilo, tiempos y flujo apropiados
- Uso apropiado de comunicaciones no verbales (gestos, contacto ocular, aplomo)
- Demostrar capacidad de contestar preguntas de manera efectiva

3.3. Comunicación en idiomas extranjeros

3.3.1 Inglés

3.3.2 Idiomas de países industriales regionales

3.3.3 Otros idiomas

4. Concebir, diseñar, implementar y operar sistemas en el contexto empresarial y social

4.1 Contexto externo y social

4.1.1 Roles y responsabilidades de los ingenieros

- Aceptación de los objetivos y los roles de la profesión de ingeniería

- Aceptación de la responsabilidad de los ingenieros hacia la sociedad

4.1.2. El impacto de la ingeniería en la sociedad

- Explicar el impacto de la ingeniería sobre la sociedad, los conocimientos y los sistemas económicos en la cultura moderna

4.1.3 Forma en que la sociedad reglamenta la ingeniería

- Aceptación del rol de la sociedad y de sus agentes en la reglamentación de la ingeniería
- Reconocer la manera en que los sistemas legales y políticos reglamentan la ingeniería y ejercen influencia sobre ella
- Describir la manera en que las sociedades profesionales otorgan permisos y fijan normas
- Describir cómo se crea, utiliza y defiende la propiedad intelectual

4.1.4. El contexto histórico y cultural

- Describir la índole y la historia diversa de las sociedades humanas, así como sus tradiciones literarias, filosóficas y artísticas
- Describir la exposición y el análisis apropiado del lenguaje, el pensamiento y los valores

4.1.5 Temas y valores contemporáneos

- Describir los asuntos y valores políticos, sociales, legales y ambientales importantes
- Definir el proceso mediante el que se fijan los valores contemporáneos y el rol personal en esos procesos
- Definir los mecanismos para la expansión y la difusión del conocimiento

4.1.6. Desarrollo de una perspectiva global

- Describir la internacionalización de la actividad humana
- Reconocer las similitudes y las diferencias en las normas políticas, sociales, económicas, comerciales y técnicas de diversas culturas
- Reconocer inter-empresas internacionales y los acuerdos y alianzas intergubernamentales

4.2. Empresas y contexto comercial

4.2.1 Apreciación de las diferentes culturas de las empresas

- Reconocer las diferencias en los procesos, las culturas y las mediciones del éxito entre diversas culturas empresariales:
 - Corporaciones comparadas con empresas académicas, gubernamentales, sin ánimo de lucro u ONGs impulsadas por el mercado o por normas, grandes o pequeñas, centralizadas o distribuidas
- Investigación y desarrollo u operaciones maduras o en fase de crecimiento comparadas con de emprendimiento
- Ciclos de desarrollo más prolongados o más veloces con o sin participación de mano de obra organizada

4.2.2 Estrategia, objetivos y planificación de las empresas

- Expresar la misión y el alcance de la empresa
- Reconocer la competencia y los mercados principales de una empresa
- Reconocer el proceso de investigación y tecnología
- Reconocer las alianzas más importantes y las relaciones con abastecedores
- Hacer una lista de los objetivos y las mediciones financieras y administrativas

- Reconocer la planificación y el control de las finanzas
- Describir las relaciones con interesados (con propietarios, empleados, clientes, etc.).

4.2.3 Emprendimiento técnico

- Reconocer oportunidades de emprendimiento que puedan ser aprovechadas con tecnología
- Reconocer tecnologías que puedan crear nuevos productos y sistemas
- Describir las finanzas y la organización de un emprendimiento

4.2.4. Trabajar exitosamente en organizaciones

- Definir la función de la gerencia
- Describir los diversos roles y responsabilidades en una organización
- Describir los roles de las organizaciones funcionales y de programas
- Describir cómo se puede trabajar efectivamente dentro de la jerarquía y las organizaciones
- Describir los cambios, la dinámica y la evolución de las organizaciones

4.3 Concepción e ingeniería de sistemas

4.3.1 Fijación de los objetivos y requisitos de los sistemas

- Identificar las necesidades y las oportunidades de los mercados
- Conocer e interpretar las necesidades de los clientes
- Identificar oportunidades que deriven de nuevas tecnologías o de necesidades latentes
- Explicar factores que fijen el contexto de las necesidades
- Identificar las metas, estrategias, capacidades y alianzas de la empresa
- Ubicar y clasificar a los competidores y fijar puntos de referencia de información

- Interpretar influencias éticas, sociales, ambientales, legales y normativas
- Explicar la probabilidad de cambio en factores que influyan sobre el sistema, sus metas y los recursos disponibles
- Interpretar las metas y las necesidades del sistema
- Identificar el lenguaje y el formato de las metas y las necesidades
- Interpretar los objetivos iniciales (según las necesidades, las oportunidades y otras influencias)
- Explicar los sistemas y las mediciones de desempeño
- Interpretar la medida en que las necesidades se completan y la coherencia con que lo hacen

4.3.2 Definición de la función, el concepto y la arquitectura

- Identificar las funciones necesarias de los sistemas (y las especificaciones de conducta)
- Seleccionar conceptos de sistemas
- Identificar el nivel de tecnología apropiado
- Analizar las compensaciones entre y la recombinación de conceptos
- Identificar la forma y la estructura arquitectónica de alto nivel
- Discutir el desglose de la forma en elementos, la asignación de función a los elementos y la definición de interfaces

4.3.3 Crear modelos de sistemas y asegurar que se puedan alcanzar los objetivos

- Ubicar modelos apropiados de desempeño técnico
- Discutir el concepto de aplicación y operaciones
- Discutir el valor y los costos del ciclo de vida útil (diseño, implementación, operaciones, oportunidad, etc.)
- Discutir compensaciones entre diversos objetivos, funciones, conceptos y estructuras e iteración hasta alcanzar la convergencia

4.3.4 Desarrollo de gestión de proyectos

- Describir el control de costos, el desempeño y la programación del proyecto
- Explicar los puntos de transición apropiados y las revisiones
- Explicar la gestión de la configuración y la documentación
- Interpretar el desempeño comparado con la línea base
- Definir el proceso de valor ganado
- Discutir el cálculo y la adjudicación de recursos
- Identificar riesgos y alternativas
- Describir las posibles mejoras del proceso de desarrollo {a-S2}

4.4 Diseño

4.4.1. El proceso de diseño

- Escoger requisitos de cada elemento o componente derivado de metas y requisitos del sistema
- Analizar diseños alternativos
- Seleccionar el diseño inicial
- Emplear prototipos y someter a prueba artículos en el desarrollo del sistema
- Ejecutar optimización apropiada en presencia de restricciones
- Demostrar iteración hasta convergencia
- Sintetizar el diseño final
- Demostrar adaptación a los requisitos cambiantes

4.4.2. Las etapas y los enfoques del diseño

- Explicar las actividades en las etapas del diseño del sistema (tales como diseño conceptual, preliminar y detallado)
- Discutir modelos de procesos apropiados para proyectos específicos de desarrollo (en cascada, espiral, concurrente, etc.)
- Discutir el proceso de productos únicos, de plataforma y derivados

4.4.3 Utilización del conocimiento en el diseño

- Emplear conocimientos técnicos y científicos

- Practicar pensamiento creativo y crítico y resolución de problemas
- Discutir trabajo anterior en la práctica, normalización y volver e emplear diseños (incluyendo emplear ingeniería reversa y volver a diseñar)
- Discutir captura de conocimiento de diseño

4.4.4. Diseño disciplinario

- Escoger técnicas, herramientas y procesos apropiados
- Explicar la calibración y validación de la herramienta de diseño
- Practicar análisis cuantitativo de alternativas
- Practicar creación de modelos, simulaciones y puestas a prueba
- Discutir el refinamiento analítico del diseño

4.4.5. Diseño multidisciplinario

- Identificar las interacciones entre disciplinas
- Identificar convencionalismos y suposiciones disímiles
- Explicar diferencias en la madurez de modelos disciplinarios
- Explicar entornos de diseño multidisciplinario
- Explicar el diseño multidisciplinario

4.4.6 Diseño con objetivos múltiples (DFX)

- Demostrar diseño relativo:
 - Al desempeño, al costo del ciclo de vida útil y al valor
 - A la estética y a factores humanos
 - A la implementación, verificación, puesta a prueba y sustentabilidad ambiental
- Operación
- Mantenimiento, fiabilidad y seguridad
- Durabilidad, evolución, mejoramiento y retiro del producto

4.5 Implementación

4.5.1 El diseño del proceso de implementación

- Expresar los objetivos y las mediciones del desempeño de aplicación, el costo y la calidad
- Reconocer el diseño del sistema de aplicación:
 - Adjudicación de tareas y trazado de células o unidades
 - Flujo de trabajo
 - Consideraciones relativas a usuarios y operadores humanos

4.5.2 El proceso de fabricación de hardware

- Describir la fabricación de piezas
- Describir el ensamblaje de piezas en montajes de mayor tamaño
- Definir tolerancias, variabilidad, características principales y control del proceso estadístico

4.5.3 El proceso de la implementación del software

- Explicar el desglose de los componentes de alto nivel en diseños modulares (incluyendo algoritmos y estructuras de datos)
- Discutir algoritmos (estructuras de datos, flujo de control, flujo de datos)
- Describir el lenguaje de programación
- Ejecutar el diseño de bajo nivel (codificación)
- Describir la construcción del sistema.

4.5.4 Integración de hardware y software

- Describir la integración del software al hardware (tamaño del procesador, las comunicaciones, etc.)
- Describir la integración del software con sensores, accionadores y hardware mecánico
- Describir la función y la seguridad del hardware y el software

4.5.5 Puesta a prueba, verificación, validación y certificación

- Discutir procedimientos de pruebas y análisis (hardware o. software, aceptación o cualificación)
- Discutir la verificación del desempeño en función de las necesidades del sistema
- Discutir la validación del desempeño en función de las necesidades del cliente
- Explicar las normas de certificación

4.5.6. Gestión de la implementación

- Describir la organización y la estructura de implementación
- Discutir fuentes de materiales, asociaciones y cadenas de abastecimiento
- Reconocer el control de los costos de implementación, desempeño y programación
- Describir la garantía de calidad y seguridad
- Describir las posibles mejoras del proceso de implementación

4.6 Operación

4.6.1 Diseñar y optimizar las operaciones

- Interpretar los objetivos y las mediciones del desempeño, el costo y el valor de la operación
- Explicar la arquitectura y el desarrollo del proceso de la operación
- Explicar el análisis y el modelo (y la misión) de la operación

4.6.2 Capacitación y operación

- Describir la capacitación para las operaciones profesionales:
 - Simulación
 - Instrucción y programas
 - Procedimientos
- Reconocer la enseñanza del funcionamiento a los consumidores
- Describir los procesos de funcionamiento

- Reconocer las interacciones en el proceso de funcionamiento

4.6.3 Apoyo del ciclo de vida útil

- Explicar el mantenimiento y la logística
- Describir el desempeño y la fiabilidad en el ciclo de vida útil
- Describir el valor y los costos del ciclo de vida útil
- Explicar los comentarios para facilitar el mejoramiento del sistema

4.6.4 Mejoramiento y evolución de los sistemas

- Definir mejoras del producto planificadas con anterioridad
- Reconocer mejoras basadas en necesidades observadas en el funcionamiento
- Reconocer mejoras evolutivas del sistema
- Reconocer mejoras y soluciones contingentes resultantes de necesidades de funcionamiento

4.6.5 Desechar y asuntos vinculados al final de la vida útil

- Definir temas del final de la vida útil
- Listar opciones para desechar
- Definir el valor residual al final de la vida útil
- Listar las consideraciones ambientales para desechar

4.6.6 Gestión de las operaciones

- Describir la organización y la estructura de las operaciones
- Reconocer asociaciones y alianzas Reconocer el control del costo, el desempeño y la programación de las operaciones
- Describir la garantía de calidad y seguridad
- Definir la gestión del ciclo de vida útil
- Reconocer posibles mejoras del proceso de las operaciones

IV.

**EJEMPLOS DE RESULTADOS
DE APRENDIZAJE**

(Tomado de: Sample Learning
Outcomes - CDIO)

Resultados en ingeniería

1. Utilizar los cálculos de sustentación y resistencia aerodinámica para evaluar el desempeño de vehículos aerodinámicos.
2. Explicar en un nivel entendible por una persona no-técnica cómo funciona la propulsión a chorro.
3. Explicar la división de la resistencia de un barco en todos sus componentes.
4. Crear modelos interactivos en 3-D de productos y ambientes usando VRML.
5. Realizar un balance de calor a una central térmica convencional.
6. Analizar las relaciones entre las propiedades de estructuras, tratamiento térmico y la carga de los metales.
7. Describir las propiedades y aplicaciones de las aleaciones más comunes.
8. Analizar los factores que causan la desintegración de metales en ambientes húmedos.
9. Distinguir las emisiones derivadas de las características de combustión en al menos tres formas.
10. Presentar diferentes puntos de vista en la defensa de un argumento.
11. Reflexionar sobre la calidad del propio pensamiento.
12. Demostrar curiosidad en temas de exploración del mar, espacio y la tierra.
13. Mostrar una disposición a compartir las propias opiniones e ideas sobre los temas presentados en clase.
14. Aceptar la responsabilidad de su propio aprendizaje.

Administración y negocios

15. Analizar y evaluar diferentes técnicas de planeación.
16. Analizar diferentes tipos de estructuras de mercado como el monopolio, oligopolio y competitividad.
17. Aplicar herramientas de análisis y diseño para el estudio de factores humanos.
18. Resolver problemas de minimización de costos de una empresa matemática y gráficamente.
19. Juzgar como parte de un panel de discusión, si propuestas de modificación o propuestas para nuevas son apropiadas.

Matemáticas

20. Dibujar conclusiones sobre la respuesta de un sistema de ecuaciones lineal usando determinantes y rango de una matriz.
21. Resolver un sistema lineal de ecuaciones usando matriz inversa y cálculos matriciales.
22. Utilizar eficientemente el cálculo para resolver problemas científicos, ingenieriles y administrativos.

Comunicación

23. Comunicación eficiente en español e inglés.
24. Escribir los informes en forma clara, consistente y convincente.
25. Investigar un tema y comunicar adecuadamente los resultados a los compañeros.

Trabajo en equipo

26. Demostrar integralidad y responsabilidad en proyectos que involucren equipos de trabajo.
27. Demostrar buenos hábitos de trabajo y contribuir a la solución en equipo.

28. Contribuir en el diseño del equipo de trabajo y valorar las contribuciones de los otros miembros del equipo.
29. Trabajar efectivamente con otros en pequeños grupos o equipos de trabajo.

Ética, integralidad y responsabilidad social

30. Evaluar soluciones económicas en términos de equidad y justicia en diferentes grupos de la sociedad.
31. Actuar con principios a pesar de la adversidad.
32. Comprometerse a ayudar a los demás y la sociedad en general.

Liderazgo

33. Tomar el rol de liderazgo en la solución de problemas complejos ambos en situaciones de universalidad y profesionalidad.
34. Reclutar a miembros clave del equipo con habilidades complementarias.
35. Soportar y construir las competencias de otros.
36. Tomar decisiones técnicas complejas con incertidumbre e información incompleta.
37. Evaluar el progreso y el desempeño del grupo.



V.

ANEXO

The CDIO Syllabus v. 2.0

An Updated Statement of Goals
for Engineering Education

Edward F. Crawley

Massachusetts Institute of Technology
Cambridge, Massachusetts, USA

Johan Malmqvist

Chalmers University of Technology
Göteborg, Sweden

William A. Lucas

Massachusetts Institute of Technology
Cambridge, Massachusetts, USA

Doris R. Brodeur

Massachusetts Institute of Technology
Cambridge, Massachusetts, USA

Abstract

Modern engineering education programs seek to impart to the students a broad base of knowledge, skills, and attitudes necessary to become successful young engineers. This array of abilities is represented in the CDIO Syllabus, an attempt to create a rational, complete, consistent, and generalizable set of goals for undergraduate engineering education. This paper examines the content and structure of the Syllabus, as well as the roles played by the Syllabus in the design and operation of educational programs.

The paper begins by examining the content and structure of the Syllabus, and then contrasts the Syllabus with other important taxonomies of educational outcomes. The CDIO Syllabus is first compared with the UNESCO Four Pillars of Learning, with which it is aligned at a high level. The Syllabus is then compared with national accreditation and evaluation standards of several nations. The finding is that the CDIO Syllabus is consistent and more detailed and comprehensive than any of the individual standards.

Based on these comparisons, as well as other input received over the last decade since the Syllabus was originally written in 2001, a revised and updated Syllabus is presented, in part to add missing skills and in part to clarify nomenclature and make the Syllabus more explicit and more consistent with national standards. The result is called the *CDIO Syllabus version 2.0*.

In modern society, engineers are increasingly expected to move to positions of leadership, and often take on an additional role as an entrepreneur. This paper also explores the degree to which the CDIO Syllabus already covers these topics, and the optional extension to the CDIO Syllabus that more adequately covers these two important roles of engineers.

Keywords

CDIO Syllabus, knowledge taxonomies, ABET, CEAB, CDIO Standard 2, engineering leadership, entrepreneurship.

Introduction

In contemporary undergraduate engineering education, there is a seemingly irreconcilable tension between two growing needs. On one hand, there is the everincreasing body of technical knowledge that graduating students must command. On the other hand, there is a growing recognition that young engineers must possess a wide array of personal, interpersonal, and system building knowledge and skills that will allow them to function in real engineering teams and to produce real products and systems, meeting enterprise and societal needs.

Over the last decade, there has evolved a broad sense that there is a need to create a new vision and concept for undergraduate education. One approach to this, recognizable to engineering faculty, is to engage this problem by applying an *engineering problem solving paradigm*. This entailed first developing a comprehensive understanding of the skills needed by the contemporary engineer, and then designing and education to meet these requirements. Cast in just slightly different language, educators would begin with the development of educational objectives and learning outcomes, and then design aligned curriculum and assessment. In either framing of the problem, an early step is the development of comprehensive goals and outcomes.

Since 2000, we have been engaged in an organized international educational initiative centered on the CDIO approach, which is structured around 12 principles of effective practice [1]. The first and organizing principle is that the conceiving-designing-implementing-operating of products, processes and systems should be the authentic context of engineering education. [2] A learning context is the set of cultural surroundings and environments that contribute to understanding, and in which knowledge and skills are learned. The CDIO approach holds that the product, process, or system lifecycle (conceiving-designing-implementing-operating), should be the *context*, but not the *content*, of engineering education. The setting of the education, the skills we teach, and the attitudes we convey should all indicate that conceivingdesigning-implementing-operating

is the authentic role of engineers in their service to society.

A second principle of effective practice of the CDIO approach is that a program should set “*Specific, detailed learning outcomes for personal and interpersonal skills, and product, process, and system building skills, as well as disciplinary knowledge, consistent with program goals and validated by program stakeholders.*” [1] In order to serve as a reference document for this process, the framework document entitled *CDIO Syllabus – A Statement of Goals for Undergraduate Engineering Education* was published in 2001. [3] The *CDIO Syllabus* was developed through discussions with focus groups comprised of various stakeholders, and by reference to other documentation of the time. As shown in Table 1, the CDIO Syllabus classified learning outcomes into four high-level categories: technical knowledge, personal and professional attributes, interpersonal skills, and the skills specific to the engineering profession. The content of each section was expanded in the CDIO Syllabus to a second level (also shown in Table 1), to a third level (see Appendix A), and to a fourth level (see Appendix B). This detailed version of the Syllabus was explicitly correlated with key documents listing engineering education requirements and desired attributes. As a result of this development process, the CDIO Syllabus emerged in 2001 as what we will now call the *CDIO Syllabus version 1.0*.

CDIO Syllabus v1.0 has proven to be a useful reference in over 100 programs worldwide for setting program goals, planning curricula, and evaluating student learning. It has been translated into Swedish, French, Spanish, Vietnamese and Chinese. Of course, the Syllabus is just a reference document, and it is not prescriptive. If programs feel that the Syllabus is not appropriate for their programs, or needs to be expanded, they can modify it in any way desirable to them.

The general objective of the CDIO Syllabus is to summarize formally a set of knowledge, skills and attitudes that alumni, industry and academia desire in a future generation of young engineers. The Syllabus can be used to define expected outcomes in terms

of learning objectives of the personal, interpersonal and system building skills necessary for modern engineering practice. Further, the Syllabus can be used to design new educational initiatives, and it can be employed as the basis for a rigorous outcomes-based assessment process, such as that required by the Accreditation Board for Engineering Technology (ABET), and increasingly by other international accreditation processes as well.

The required skills of engineering are best defined through the examination of the practice of engineering for which we prepare our students. In fact, from its conception as a profession until the middle of the 20th century, engineering education was based on practice. With the advent, in the 1950s, of the engineering science-based approach to engineering education, the education of engineers became more distant from the practice of engineering. Engineering science became the dominant culture of engineering schools. Many universities are now moving to a new synthesis of engineering science and authentic practice.

Over the last 30 years, industry in the United States and elsewhere has made a concerted effort to signal their needs and support this transition. Yet, statements of highlevel goals, written in part by those outside the academic community, have not made the kind of fundamental impact their authors desired. We examined this issue, and decided there were two root causes for this lack of convergence between engineering education and practice: an absence of rationale and an absence of detail.

Our approach was to reformulate the underlying need to make the rationale apparent. A statement of the underlying need for engineering education is that: *Graduating engineers should be able to conceive-design-implement-operate complex value-added engineering systems in a modern team-based environment.*

If we accept this conceive-design-implement-operate premise as the *context* of engineering education, we can then rationally derive more detailed goals for the education. The second barrier is the fact that the “lists” of desired attributes, as written, lack sufficient

detail and specificity to be widely understood or implemented. Therefore, we composed the CDIO Syllabus to provide the necessary level of detail.

The specific objective of the CDIO Syllabus is to create a clear, complete, consistent, and generalizable set of goals for undergraduate engineering education, in sufficient detail that they can be understood and implemented by engineering faculty. These goals would form the basis for educational and learning outcomes, the design of curricula, as well as the basis for a comprehensive system of student learning assessment. In addition, they would form the basis for effective communication, benchmarking, inter-university sharing, and international correspondence.

Our goal was to create a taxonomy of engineering learning that is rationalized against the norms of contemporary engineering practice, comprehensive of all known other sources, and peer-reviewed by experts in the field. Further, we sought to develop a list that is

prioritized, appropriate to university education, and in a form that can be expressed as learning objectives.

The objective of this paper is to review the CDIO Syllabus, ten years after its drafting, for its applicability and continued relevance. We have introduced some minor changes in the document to increase its contemporary relevance and broaden its coverage, and call this revised document the CDIO Syllabus v2.0. The modifications to the first and second level of the Syllabus are modest, as show in Table 2. The paper first reviews the highlevel content and structure of the Syllabus. A discussion is then presented of use of the Syllabus in aligning curriculum, teaching and learning, and assessment. Then the historical development and recent updating of the more detailed Syllabus will be presented, culminating in the complete version 2.0 of the document. Finally, a proposed extension of the Syllabus to include entrepreneurship and leadership is discussed.

Table 1. CDIO Syllabus v1.0 at the Second Level of Detail

<p>1. Technical knowledge and reasoning</p> <ul style="list-style-type: none"> 1.1. Knowledge of underlying science 1.2. Core engineering fundamental knowledge 1.3 Advanced engineering fundamental knowledge <p>2. Personal and professional skills and attributes</p> <ul style="list-style-type: none"> 2.1 Engineering reasoning and problem solving 2.2 Experimentation and knowledge discovery 2.3 System thinking 2.4 Personal skills and attitudes 2.5 Professional skills and attitudes 	<p>3. Interpersonal skills: teamwork and communication</p> <ul style="list-style-type: none"> 3.1 Multi-disciplinary teamwork 3.2 Communications 3.3 Communications in foreign languages <p>4. Conceiving, designing, implementing, and operating systems in the enterprise and societal context</p> <ul style="list-style-type: none"> 4.1 external and societal context 4.2 enterprise and business context 4.3 conceiving and engineering systems 4.4 designing 4.5 implementing 4.6 operating
---	--

Table 2. CDIO Syllabus v2.0 at the Second Level of Detail (Underlined Text is Updated from v1.0)

<p>1. Disciplinary knowledge and reasoning</p> <p>1.1 Knowledge of underlying mathematics and science</p> <p>1.2 Core fundamental knowledge of engineering</p> <p>1.3 Advanced engineering Fundamental knowledge, methods and tools</p> <p>2. Personal and professional skills and attributes</p> <p>2.1 Analytical reasoning and problem solving</p> <p>2.2 Experimentation, investigation and knowledge discovery</p> <p>2.3 System thinking</p> <p>2.4 Attitudes, though and learning</p> <p>2.5 Ethics, equity and other responsibilities</p>	<p>3. Interpersonal skills: teamwork and communication</p> <p>3.1 Teamwork</p> <p>3.2 Communications</p> <p>3.3 Communications in foreign languages</p> <p>4. Conceiving, designing, implementing, and operating</p> <p>Systems in the enterprise, Societal and <u>environmental</u> context</p> <p>4.1 External, societal and environmental context</p> <p>4.2 Enterprise and business context</p> <p>4.3 Conceiving, systems engineering and management</p> <p>4.4 Designing</p> <p>4.5 Implementing</p> <p>4.6 Operating</p>
---	--

First- And Second-Level Content Of The Cdio Syllabus

First-Level Structure

In this section, we present the high-level content and structure of the CDIO Syllabus. The departure point for the derivation of the CDIO Syllabus' content is the simple statement that *engineers engineer*, that is, they build systems and products for the betterment of humanity. To enter the contemporary profession of engineering, students must be able to perform the essential function of an engineer which, as we have stated is that.

Graduating engineers should be able to:
conceive-design-implement-operate complex
value-added engineering systems in a modern
team based environment

Stated another way, graduating engineers should appreciate the engineering *process*, be able to contribute to the development of engineering *products*, and do so while working in engineering *organizations*. Implicit is the additional expectation that engineering graduates should develop as whole, mature, thoughtful individuals.

These high-level expectations map directly to the first- or highest-level organization of the CDIO Syllabus. (see Table 2) Examining the mapping of the first level Syllabus items to these four expectations, we can see that a mature individual interested in technical endeavors possesses a set of *Personal and Professional Skills and Attributes*, which are central to the practice. In order to develop complex value-added engineering systems, students must have mastered the fundamentals of the appropriate *Disciplinary Knowledge and Reasoning*. To work in a modern team-based environment, students must have developed the *Interpersonal Skills* of

teamwork and communications. Finally, to create and operate products and systems, a student must understand something of *Conceiving, Designing, Implementing, and Operating Systems in the Enterprise, Societal and Environmental Context*. The four-section organization of the Syllabus reflects disciplinary knowledge, how to think, how to work with others, and how to engineer.

The first section, *Disciplinary Knowledge and Reasoning*, is program specific, that is, it outlines major disciplinary concepts of a specific engineering

domain. Sections 2, 3, and 4 are more generic and applicable to virtually any engineering program. One could argue that this structure of Knowledge, Thinking and Acting, Working with Others, and Working Professionally is a taxonomy that can be applied to any field of study which prepares students for a profession. In fact, the CDIO Syllabus has been applied to other professional areas (e.g., business management) largely by customizing Sections 1 and 4, but leaving Sections 2 and 3 largely unchanged.

Second-Level Structure

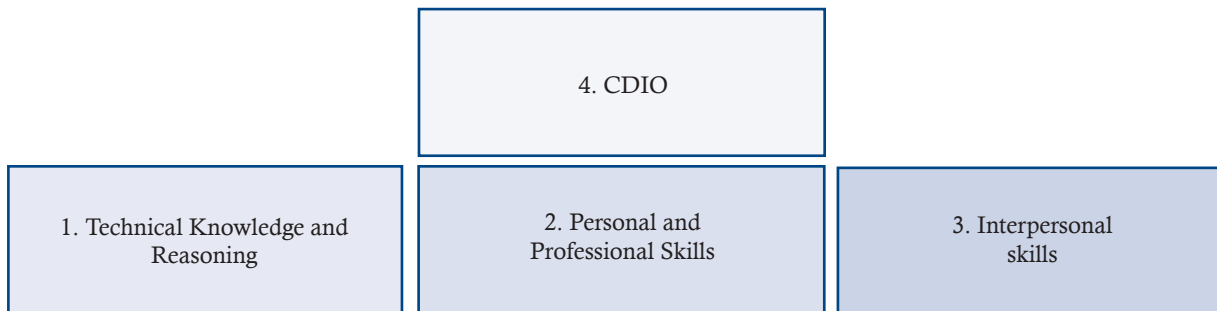


Figure 1: Building blocks of knowledge, skills, and attitudes necessary to Conceive, Design, Implement, and Operate Systems in the Enterprise, Societal and Environmental Context (CDIO).

The second level of the Syllabus consists of 17 sections, assigned to the four sections shown in Figure 1. These are roughly at the level of detail of national standards and accreditation criteria. Section 1 of CDIO Syllabus v2.0 is now called *Disciplinary Knowledge and Reasoning*. Modern engineering professions often rely on a necessary core Knowledge of Underlying Mathematics and Sciences (1.1). A body of Core Engineering Fundamental Knowledge (1.2) builds on that science core, and a set of Advanced Engineering Fundamental Knowledge, Methods and Tools (1.3) moves students towards the skills necessary to begin a professional career. This section of the CDIO Syllabus is, in fact, a placeholder for the more detailed description of the disciplinary fundamentals necessary for any particular engineering

education. Section 1 details will vary in content from field to field.

In the remainder of the Syllabus, we have endeavored to include the knowledge, skills and attitudes that all engineering graduates might require. Section 2 begins with the three modes of thought most practiced professionally by engineers: Analytical Reasoning and Problem Solving (2.1), Experimentation, Investigation and Knowledge Discovery (2.2) and System Thinking (2.3). The detailed topical content of these sections at a third level is shown in Appendix A, and a fourth or implementable level is given in Appendix B. There is parallelism in these three sections (2.1 - 2.3). Each starts with a subsection which is essentially “formulating the issue,” moves through the particulars of that mode of thought, and

ends with a section which is essentially “resolving the issue.”

Those personal values and attitudes that are used primarily in a professional context and that reflect on responsibilities are called Ethics, Equity and Other Responsibilities (2.5).

These include professional ethics, integrity and social responsibility, professional behavior, visioning for career and life, currency in engineering, equity and diversity and trust and loyalty. While these values and attitudes are applicable to engineering, there is nothing in this section that is conceptually particular to engineering. The subset of personal skills that are not primarily associated with responsibilities, are called Attitudes, Thought and Learning (2.4). These include the general character traits of initiative and perseverance, the more generic modes of thought of creative and critical thinking, and the skills of self-awareness and metacognition, curiosity and lifelong learning and educating, and time management.

Section 3 *Interpersonal Skills* is a distinct subset of the general class of personal skills, focused on interaction with others. They are divided into three overlapping sets called Teamwork (3.1) Communications (3.2), and Communications in Foreign Languages (3.3). Teamwork comprises forming, operating, growing and leading a team, as well as skills specific to technical and multidisciplinary teamwork. Communications comprises the skills necessary for formal communication: devising a communications strategy and structure; and those necessary to use the four common media -- written, oral, graphic and electronic. In addition, there is a set of informal communications and relational skills: inquiry and effective listening, negotiation, advocacy, and networking. Command of a foreign language is an important part of engineering in a globalized society. Because of its importance, English is called out specifically. Languages of regional commerce and industry are also important, for example, speaking both Spanish and Portuguese in South America. Command of additional languages is considered beneficial.

Section 4 *Conceiving, Designing, Implementing, and Operating Systems in the Enterprise, Societal and Environmental Context* presents a view of how product or system development moves through four metaphases, Conceiving (4.3), Designing (4.4), Implementing (4.5), and Operating (4.6). The chosen terms are descriptive of hardware, software and process industries. Conceiving runs from market or opportunity identification through high-level or conceptual design, and includes system engineering and development project management. Designing includes aspects of design process, as well as disciplinary, multidisciplinary, and multi-objective design. Implementing includes hardware and software processes, test and verification, as well as design and management of the implementation process. Operating covers a wide range of issues from designing and managing operations, through supporting product lifecycle and improvement, to end-of-life planning.

Products and systems are created and operated within an Enterprise and Business Context (4.2), and engineers must understand these sufficiently to operate effectively. The skills necessary to do this include recognizing the culture and strategy of an enterprise, and understanding how to act in an entrepreneurial way within an enterprise of any type or size. In addition, working effectively in international organizations, understanding new technology development and engineering project finance are skills which engineers will likely employ. Likewise, enterprises exist within a larger External, Societal and Environmental Context (4.1), an understanding of which includes such issues as the relationship between society and engineering, and requires a knowledge of the broader historical, cultural, contemporary and global context. Increasingly, understanding environmental context, and planning for sustainable development are necessary elements of context.

Comparison with the UNESCO and Other High-Level Frameworks

At its high-level organization, we have tried to organize the CDIO Syllabus in a rational manner. (see Table 2) The first level of Syllabus organization

reflects an engineer who is a well-developed individual (Section 2), engaged in a process (Section 4), which is embedded in an organization (Section 3), with the intent of building products (Section 1). The 17 topics at the second level reflect much of the modern practice and scholarship on learning and the profession of engineering.

One of the most important aspects of the CDIO Syllabus is this choice of internal organization. A template for learning outcomes can be organized in many ways. For example, the 11 ABET accreditation criteria (criteria 3a – 3k) are not subdivided into categories at all. [4] The 2008 European EQF characteristics are categorized as Knowledge, Skills and Competences. [5] The 2008 EUR-ACE accreditation criteria are subdivided into Knowledge and Understanding, Engineering Analysis, Engineering Design, Investigations, Engineering Practice, and Transferable Skills. [6] The structure of domains of knowledge and skills (knowledge, personal skills, interpersonal skills and system building) was chosen as the organizing principle of the CDIO Syllabus.

An independent validation of this choice is the universal educational taxonomy developed by UNESCO [7]. They have proposed that all education should be organized around four fundamental types of learning:

- Learning to Know, that is, acquiring the instruments of understanding.
- Learning to Do, so as to be able to act creatively on one's environment.
- Learning to Live Together, so as to co-operate with other people.
- Learning to Be, an essential progression that proceeds from the previous three.

The organization of the CDIO Syllabus can be described as an adaptation of the UNESCO framework to the context of engineering education. At the first level, the CDIO Syllabus is divided into four categories:

1. *Technical Knowledge and Reasoning (or UNESCO Learning to Know).*

Section 1 of the CDIO Syllabus defines the mathematical, scientific and technical knowledge that an engineering graduate should have developed.

2. *Personal and Professional Skills and Attributes (or UNESCO Learning to Be)* Section 2 of the Syllabus deals with individual skills, including problem solving, ability to think creatively, critically, and systemically, and professional ethics.
3. *Interpersonal Skills: Teamwork and Communication (or UNESCO Learning to Live Together)* Section 3 of the Syllabus lists skills that are needed in order to be able to work in groups and communicate effectively.
4. *Conceiving, Designing, Implementing and Operating Systems in the Enterprise, Societal and Environmental Context (or UNESCO Learning to Do)* Finally, Section 4 of the CDIO Syllabus is about what engineers do, that is, conceive-design-implement-operate products, processes and systems within an enterprise, societal, and environmental context.

Although the UNESCO framework precedes the first draft of the CDIO Syllabus by several years, the original drafters of the Syllabus did not know of its existence. Thus, UNESCO and CDIO independently arrived at the same fundamental structure of four pillars of learning.

Comparison with Engineering Professional Career Tracks

Another indicator of the rational structure of the Syllabus is the degree to which it maps to the needs of various career tracks that engineers follow as professionals. The Syllabus implicitly identifies a generic set of skills needed by all engineers, as well as more specific sets needed by different career tracks. The generic skills applicable to all tracks include: Analytical Reasoning and Problem Solving (2.1), System Thinking (2.3), Attitudes, Thought and Learning (2.4), Ethics, Equity and Responsibility (2.5),

Teamwork (3.1), Communications (3.2), Communications in Foreign Languages (3.3) and External and Societal Context (4.1).

There are at least five different professional tracks that engineers follow, according to their individual talents and interests. The tracks and supporting sections of the Syllabus are:

1. The Researcher □ Experimentation, Investigation and Knowledge Discovery (2.2).
2. The System Designer/Engineer □ Conceiving, System Engineering and Management (4.3).
3. The Device Designer/Developer □ Designing (4.4), Implementing (4.5).
4. The Product Support Engineer/Operator □ Operating (4.6).
5. The Entrepreneurial Engineer/Manager □ Enterprise and Business Context (4.2) Of course, no graduating engineer will be expert in all of these potential tracks, and in fact may not be expert in any. However, the paradigm of modern engineering practice is that an individual's role will change and evolve.

The graduating engineer must be able to interact in an informed way with individuals in each of these tracks, and must be educated as a generalist, prepared to follow a career that leads to any one or combination of these tracks.

It is important to note that the CDIO Syllabus exists at four levels of detail as shown in.

Appendix B. This decomposition is necessary to transition from the high-level goals (e.g., all engineers should be able to communicate) to the level of teachable and assessable skills (e.g., a topic in attribute 3.2.1, “analyze the audience”). This level of detail has many benefits for engineering faculty members, who in many cases are not experts in some of these topics. The detail allows instructors to gain insight into content and objectives, contemplate the deployment of these skills into a curriculum, and prepare lesson and assessment plans.

We have attempted to explain how the Syllabus forms a rational and generalizable basis for the goals of engineering education. Before discussing the Syllabus content in more detail, we briefly describe the use of the Syllabus in planning, executing and evaluating an educational program.

The Role Of The Cdio Syllabus In Education

In the past ten years, the CDIO Syllabus has played a key role in the design of curriculum, teaching, and assessment in engineering education. As a formal statement of the intended learning outcomes of an engineering program, the Syllabus was able to.

- Capture the expressed needs of program stakeholders
- Highlight the overall goals of an engineering program
- Provide a framework for benchmarking outcomes
- Serve as a template for writing program objectives and outcomes
- Provide a guide for the design of curriculum
- Suggest appropriate teaching and learning methods
- Provide the targets for student learning assessment
- Serve as a framework for overall program evaluation, and
- Communicate with faculty, students, and other stakeholders about the direction and purpose of a renewed engineering education that is centered on students and focused on outcomes.

In the curriculum and instructional design process, the CDIO Syllabus was adapted to diverse engineering programs in order to ensure that intended learning outcomes were aligned with institutional mission and vision, program objectives, and institutional and program values. (see Figure 2) This sometimes meant that a program omitted a few of the personal, interpersonal, and product, process, and system building skills found in the CDIO Syllabus, or added a few to highlight specific values of its institution.

The list of intended learning outcomes, adapted from the CDIO Syllabus, served as the basis for instructional decisions about curriculum, teaching and learning methods, and the assessment of student learning. In the curriculum design process at the program level, intended learning outcomes were detailed, sequenced from basic to complex, and mapped to appropriate levels and courses in the overall curriculum. For example, an intended learning outcome related to oral and written communication would be further defined into enabling steps and learning activities that would be integrated into courses at all levels of the curriculum so that by graduation, students would be able to demonstrate their competence in oral and written communication.

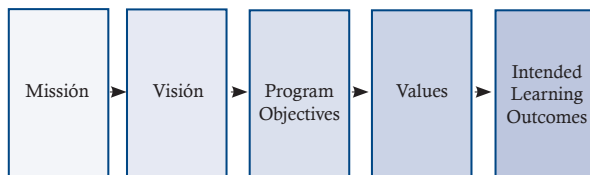


Figure 2. Alignment of intended learning outcomes with program mission

In the instructional design process at the course level, intended learning outcomes were used to guide decisions about appropriate teaching, learning, and assessment methods. The appropriateness of teaching and assessment methods depends on the nature and level of the learning outcomes. Using the same example of communication, appropriate teaching and assessment methods would be those that would allow students to practice their skills, get feedback on their performance, and in an assessment situation,

demonstrate their achievements. Biggs refers to this purposeful relationship between the intended learning outcomes, teaching and learning activities, and assessment of student learning as *constructive alignment*. [8] (see Figure 3) Wiggins and McTighe refer to the outcomes, teaching and learning, and assessment sequence as *backward design*. [9] With or without a specific name, all models of instructional design highlight the centrality of learning outcomes and the importance of the alignment of curriculum, teaching, and assessment. The CDIO Syllabus was used as a starting point for defining these learning outcomes at the course level.

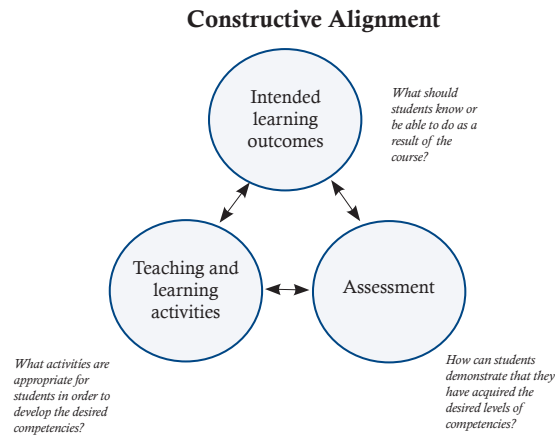


Figure 3. Alignment of intended learning outcomes with teaching and assessment

The CDIO Syllabus was also used in program evaluation and accreditation. For example, engineering programs at four different universities in the United States used the Syllabus as the framework for their self-studies for accreditation by ABET. [4] Using the language of ABET's EC2010, the CDIO Syllabus at the first level addressed ABET *Criterion 2 – Educational Objectives*. The topics of the Syllabus at the second level addressed ABET *Criterion 3 – Educational Outcomes*. Each topic was written as an educational outcome, in much the same language as ABET's required outcomes specified in Criteria 3a through 3k. These program learning outcomes subsequently became the starting point for writing learning outcomes for each course in the engineering curriculum.

ORIGIN AND EVOLUTION OF THE CDIO SYLLABUS

Developing Version 1.0 of the Syllabus

The CDIO Syllabus aims to be complete, consistent, and clear; that is, to describe the knowledge, skills, and attitudes expected of a graduating engineer in sufficient detail that curricula can be planned and implemented, and student learning assessed. While there is general agreement about the high-level view of these expectations among the comprehensive source documents cited [4,5,6,7], they lack the detail necessary to actually plan instruction and assess learning. We first present a brief review of the process used to arrive at the detailed content of the Syllabus a decade ago. The process blended elements of a product development user need study with techniques from educational research. The detailed content was derived through multiple steps, which included a combination of focus group discussions, document research, surveys, workshops and peer reviews.

Focus Groups

The first step in gathering the detailed content of the Syllabus was engaging four focus groups at MIT, including one of faculty, a group of current students, a group of industrial representatives, and a broadly based external review committee. To ensure applicability to all engineering fields, we included individuals with varied engineering backgrounds. The groups were presented with the question, “What, in detail, is the set of knowledge, skills and attitudes that a graduating engineer should possess?”

Document Review

A number of primary source documents were reviewed. The four principal ones were studied in the approximate chronological order of their appearance: the goals of the 1988 MIT Commission on Engineering Undergraduate Education, the ABET EC 2000 accreditation criteria [4], Boeing’s Desired

Attributes of an Engineer [10], and the goals of the 1998 MIT Task Force on Student Life and Learning. These four sources were representative of the views of industry, government and academia on the expectations for a university graduate.

Draft Organization and Survey

We organized results of the focus groups, plus the topics extracted from the four principal source documents into a first draft, which contained the first multi-level organization of the content. This preliminary draft needed extensive review and validation. To obtain stakeholder feedback, a survey was conducted among four constituencies: faculty, senior industry leaders, young alumni (average age 25) and older alumni (average age 35). The qualitative comments from the roughly 100 respondents to this survey were incorporated, improving the Syllabus’ organization, clarity and coverage.

Workshops and Faculty Review

The first draft and survey comments were thoroughly reviewed in a faculty workshop at MIT and significantly reworked. This resulted in a second draft of the CDIO Syllabus, which was the first to have the four topics of the first-level organization (disciplinary knowledge, etc.), and contained 16 second-level sections (3 of which are placeholders in Section 1). These first- and second-level topics have been stable, with small changes, since 2000. The only second-level section subsequently added was 3.3 Communications in Foreign Languages. Using the information gathered from the focus groups, documents, surveys and workshops, the third level (Appendix A) and fourth level (Appendix B) of the Syllabus were developed.

Peer Review

The second draft of each of the 13 second-level topics in Sections 2 through 4 of the Syllabus was sent to disciplinary experts for review, that is,

communications experts reviewed 3.1, design experts reviewed 4.4, etc. Through the expert reviews, we identified additional comprehensive source documents, as well as detailed references appropriate for each section. The peer reviewers also helped us to make the document more consistent with the organization of knowledge and terminology used by professionals in each of the fields. Combining the results of the peer review, and the check of additional comprehensive and detailed sectional references, we completed the third major draft of the Syllabus.

Collaborator review

In 2000, the CDIO Initiative was just beginning. Up to this point, the Syllabus had been under development at MIT. However, the final drafting of version 1.0 of the Syllabus became one of the first projects of the new collaboration. The Syllabus was reviewed from a European perspective, and, respectively, by mechanical, systems/IT, and transportation engineering faculty from Chalmers University of Technology, Linköping University, and the Royal Institute of Technology (KTH). This review surfaced many details that were specific to the U. S., to MIT, or to aerospace engineering. The outcome was a “translation” of the document into more generic form, with an attempt to find more universal terminology. Section 3.3, Communications in Foreign Languages, was also added at this time.

This multi-step process led to the publication of Version 1.0 of the CDIO Syllabus in 2001 [3].

Revising the Syllabus to Create Version 2.0

Since the CDIO Syllabus was first drafted more than ten years ago, it has been a remarkably stable document, serving programs in all domains of engineering in educational institutions of all types throughout the world. However, there have been pressures to change the Syllabus. These pressures have two primary sources. The first pressure arises from the development of new taxonomies of knowledge that

surface new issues or organizations that should be considered. The second pressure comes from questions from users of the Syllabus looking for clarification or for knowledge and skill areas that seem to be missing. We review the correlation of the CDIO Syllabus with other documents, and then summarize the most frequently heard user concerns.

Comparison with ABET

The most common comparison documents for the CDIO Syllabus are those of national accreditation or evaluation bodies, usually produced by governments or professional societies. CDIO programs at different universities worldwide usually need to meet their respective national or accreditation standards, for example, ABET in the United States [4] or the National Agency for Higher Education in Sweden [11]. This need brings the correlation of the CDIO Syllabus with national outcomes requirements into focus. During the development of the first version of the CDIO Syllabus, it was correlated with the outcomes criteria of ABET EC2000. The updated Syllabus has been correlated with ABET EC2010. [4] The most relevant section of ABET EC2010 is Criterion 3 on *Program Outcomes and Assessment*. (Additions to the EC2000 criteria are underlined).

Engineering programs must demonstrate that their graduates have

- a. an ability to apply knowledge of mathematics, science, and engineering
- b. an ability to design and conduct experiments, as well as to analyze and interpret data
- c. an ability to design a system, component, or process to meet desired needs within realistic constraints, such as economic, environmental, social, political, ethical, health and safety, manufacturability, and sustainability
- d. an ability to function on multidisciplinary teams
- e. an ability to identify, formulate, and solve engineering problems
- f. an understanding of professional and ethical responsibility

- g. an ability to communicate effectively
- h. the broad education necessary to understand the impact of engineering solutions in a global, economic, societal and environmental context
- i. a recognition of the need for, and an ability to engage in, life-long learning
- j. a knowledge of contemporary issues
- k. an ability to use the techniques, skills, and modern engineering tools necessary for engineering practice.

considering the full product/system/process lifecycle, including the implementing and operating life phases, whereas the ABET EC2010 criteria focus on the design phase. Overall, the CDIO Syllabus includes all of the ABET EC2010 criteria, but the reverse is not the case. The ABET criteria omit references to a wide array of skills and attitudes in Section 2.4 of the CDIO Syllabus, including creative and critical thinking, as well as the skill of communicating in foreign languages (3.3). However, the major advantage of the CDIO Syllabus is that it is more detailed, containing two or three more levels of detail than do the ABET EC2010 criteria. The increased levels of detail facilitate the interpretation of general statements, such as “communicate effectively”, that are common in national outcomes requirements.

The correlation of the CDIO Syllabus with ABET EC2010 Criterion 3 is shown in Figure 4. In general, the CDIO Syllabus reflects a more encompassing view of engineering than does ABET EC2010, by

CDIO Syllabus	ABET EC2010 Criterion 3											
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	
1.1 Knowledge of Underlying Mathematics, Science	■											
1.2 Core Engineering Fundamental Knowledge	■											
1.3 Adv. Engr. Fund. Knowledge, Methods, Tools	■										■	
2.1 Analytical Reasoning and Problem Solving					■						■	
2.2 Exper., Investigation and Knowledge Discovery		■										
2.3 System Thinking			■									
2.4 Attitudes, Thought and Learning									■			
2.5 Ethics, Equity and Other Responsibilities						■					■	
3.1 Teamwork				■								
3.2 Communications							■					
3.3 Communication in Foreign Languages												
4.1 External, Societal and Environmental Context			■					■		■		
4.2 Enterprise and Business Context			■					■				
4.3 Conceiving, Systems Engr. and Management			■									
4.4 Designing			■									
4.5 Implementing			■									
4.6 Operating			■									
	■	Strong Correlation					■	Good Correlation				

Figure 4. The CDIO Syllabus correlated with ABET EC2010 Criterion 3

Comparison with CEAB and other National Evaluation Documents

In September 2008, *Engineers Canada*, through its Canadian Engineering Accreditation Board (CEAB), published a new set of accreditation criteria and procedures.[12] The criteria include 12 graduate attributes that are well correlated with the CDIO Syllabus:

- 3.1.1. Knowledge Base for Engineering
- 3.1.2. Problem Analysis
- 3.1.3. Investigation
- 3.1.4. Design
- 3.1.5. Use of Engineering Tools
- 3.1.6. Individual and Team Work
- 3.1.7. Communication Skills

- 3.1.8. Professionalism
- 3.1.9. Impact of Engineering on Society and the Environment
- 3.1.10. Ethics and Equity
- 3.1.11. Economics and Project Management
- 3.1.12. Life-Long Learning

The correlation of the CDIO Syllabus with the CEAB criteria is illustrated in Figure 5 [13] Again, the CDIO Syllabus is more comprehensive than the national criteria, although the mapping between the two is good. The CDIO Syllabus at the third level of detail provides a more refined definition of the 12 graduate attributes specified in the new CEAB document, and can help institutions to meet these new criteria.

CDIO Syllabus	CEAB Graduate Attributes Criteria 3.1											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.1 Knowledge of Underlying Mathematics, Science	■											
1.2 Core Engineering Fundamental Knowledge	■				■							
1.3 Advanced Eng. Fundamental Knowledge, Methods, Tools	■	■			■						■	
2.1 Analytical Reasoning and Problem Solving			■				■					
2.2 Experimentation, Investigation and Knowledge Discovery		■	■	■	■	■						■
2.3 System Thinking								■		■		■
2.4 Attitudes, Thought and Learning						■						
2.5 Ethics, Equity and Other Responsibilities							■					
3.1 Teamwork								■	■			
3.2 Communications											■	
3.3 Communication in Foreign Languages				■					■		■	
4.1 External, Societal and Environmental Context				■								
4.2 Enterprise and Business Context												
4.3 Conceiving, Systems Engineering and Management				■								
4.4 Designing				■								
4.5 Implementing				■								
4.6 Operating				■								
	■	Strong Correlation					■	Good Correlation				

Figure 5. The CDIO Syllabus correlated with the CEAB Graduate Attributes

Subsequent analyses compared the CDIO Syllabus with national and international standards, such as the British UK-SPEC, the Dublin Descriptors, and the Swedish national engineering degree requirements [14], as well as the European EUR-ACE framework standards for accreditation of engineering programs [15]. Across all these comparisons, a similar pattern appears: The CDIO Syllabus states outcomes for engineering education that reflect a broader view of the engineering profession, and its greater levels of detail facilitate program and course development. A program whose design is based on the CDIO Syllabus will also satisfy its national requirements for specified program outcomes.

The principal modifications in the CDIO Syllabus that were identified by detailed comparisons with national accreditation and evaluation documents were primarily the clarification of some of the topics so that the correspondence is more explicit. The following changes were made in version 2.0 of the Syllabus: (see Appendix A and Appendix B).

- 1.0 -- Change to Disciplinary Knowledge and Reasoning (Swedish Ordinance and EUR-ACE)
- 1.1 -- Add Mathematics (ABET)
- 1.3 -- Add Methods and Tools (ABET and CEAB)
- 2.1 -- Change to Analytical Reasoning and Problem Solving (ABET and CEAB)
- 2.2 -- Add Investigation to the title (CEAB)
- 2.5.1 -- Change to Ethics, Integrity, and Social Responsibility (ABET and CEAB)
- 2.5.5 -- Add Equity and Diversity (CEAB)
- 3.1.5 -- Add Multidisciplinary Teaming (ABET and CEAB)
- 3.2.7 -- Add Inquiry, Listening and Dialogue (CEAB)
- 4.2.7 -- Add Engineering Project Finance and Economics (CEAB and UK-SPEC)
- 4.3.1 -- Add Understanding Needs (ABET and CEAB)
- 4.3.3 -- Add Systems Engineering (CEAB)
- 4.4.6 -- Modify to indicate safety (CEAB)

Modifications Based on User Feedback

Innovation and Invention

In the last decade, the concept of innovation as a role or purpose of engineering has become commonly accepted. However, there are several different understandings of the word *innovation*. The broader one is the development and exploitation of new ideas. A more specific understanding applicable to engineering is that *innovation* is the development and introduction into the market of new goods and services. If one accepts this latter definition, innovation is just the market-oriented view of what the CDIO Syllabus defines in Sections 4.2 through 4.6 – Conceiving, System Engineering and Management, Designing, Implementing, and Operating, within an enterprise. More emphasis may need to be placed on understanding

the market and user needs as a basis for developing goals, but otherwise, the skills and knowledge necessary to foster this more specific use of innovation is included in the CDIO Syllabus. *Invention* refers to the development of new technologies that may enable innovations, including their incorporation into products and services that will be delivered. While invention is present in the CDIO Syllabus, it is made explicit only at the fourth level of detail. It was necessary to raise the visibility of this important engineering function.

With respect to innovation and invention, the following modifications to the CDIO

Syllabus are incorporated into version 2.0: (see Appendix A and Appendix B).

- 4. -- Add Innovation to the title
- 4.2.2 -- Change to Enterprise Stakeholders, Strategy and Goals
- 4.2.6 -- Add New Technology Development and Assessment
- 4.2.7 -- Add Engineering Project Finance and Economics
- 4.3.1 -- Change to Understanding Needs and Setting Goals

Sustainability

During the last decade, the importance of sustainable development has become widely recognized. Future engineers need to be able to mitigate the negative environmental consequences of current energy and production systems, and create new ones that are essentially carbon neutral. It follows that engineering education must emphasize sustainability principles. In this context, the CDIO Syllabus, v1.0, had received some criticism, as sustainability is mentioned in only one place, at the fourth level of detail, under 4.4.6. The low visibility has been interpreted as insufficient emphasis on this topic.

However, it could also be argued that CDIO is fundamentally aligned with the ideas of sustainability: Engineers are said to conceive, design, implement and operate complex technical systems with the entire product/process/system lifecycle in mind. Moreover, sustainability is a complex concept. It includes three main dimensions: economic, environmental, and social sustainability, including both subject matter and judgmental aspects, such as, ethics and decision-making [16]. There are many places in the CDIO Syllabus that emphasize the lifecycle perspective, for example, requirements should cover all phases of the lifecycle; analyses should be made of lifecycle values and costs; and product retirement should be planned ahead. With this broader perspective in mind, links between sustainability principles and CDIO Syllabus topics were identified [17]. In essence, we concluded that the CDIO Syllabus does support the development of an engineering education that

strongly considers sustainability. Nevertheless, the visibility of the concept of sustainability needed to be strengthened in the CDIO Syllabus, signaling its importance to students, industry, and program and course developers.

Based on these issues of *sustainability*, the following modifications to the CDIO Syllabus are incorporated into version 2.0: (see Appendix A and Appendix B).

- 4 -- Include Environmental
- 4.1 -- Include Environmental
- 4.1.7 -- Add Sustainability and the Need for Sustainable Development
- 4.4.6 -- Make Design for Sustainability more explicit
- 4.5.1 -- Change to Designing a Sustainable Implementation Process
- 4.6.1 -- Change to Designing and Optimizing Sustainable and Safe Operations

Internationalization and Mobility

Engineers increasingly work with international partners at a site, in multinational companies, and with companies, suppliers or markets in different lands. The engineering workforce itself is more mobile, and it is not uncommon for engineers to work in nations other than the one in which they received their training. In order to prepare students for this future, there were several subtle but meaningful changes made to the Syllabus:

- 4.1.6 -- Add Developing a Global Perspective
- 4.2.5 -- Add Working in International Organizations

The Syllabus already had several sections pertinent to internationalization, including 3.3 Communications in Foreign Languages and reference in 2.5.2 to international norms. The two new topics work in concert with other aspects of the Syllabus to prepare a student for mobility and international efforts.

Other Critiques and Inputs

Over the years, several universities have observed that the CDIO Syllabus does not place sufficient emphasis on the topics of ethics, morality, and social responsibility. For example, two universities in Chile adapted the CDIO Syllabus to their programs by adding to 2.4 the following (translated from the Spanish): *Commitment to Christian principles; Concern for those in great need; and Concern for the environment*. In response to this criticism, Section 2.5 was renamed as *Ethics, Equity and Other Responsibilities*, and 2.5.5 *Equity and Diversity* and 2.5.6 *Trust and Loyalty* were added.

Others have observed that, while the CDIO Syllabus covers aspects of formal communication well, that is, writing, oral presentations, and graphics, it could be more explicit about informal and interpersonal communications. This led to the inclusion of several new topics in Section 3.2, including:

3.2.7 – *Add Inquiry, Listening and Dialog*

3.2.8 – *Add Negotiation, Compromise and Conflict Resolution*

3.2.9 – *Add Advocacy*

3.2.10 – *Add Establishing Diverse Connections and Networking*

Another important critique is based on the work of Johan DeGraeve, which proposes a

Five-E Model for engineering education. The model, developed at Group T International University College in Leuven, Belgium, describes five “E” terms around which their program of educating *integral engineers* is built. [18] The first three E’s represent the roles engineers play in society.

1. ENGINEERING -- making things

Integral engineers create by making use of technology and the underlying sciences. They are familiar with a multidisciplinary approach.

2. ENTERPRISING -- getting things done

Integral engineers have vision. On this basis, they define a mission around which they gather others. Through innovation, daring and leadership they effectively get things done.

3. EDUCATING -- developing oneself and others

Integral engineers are capable of coaching themselves, others, and teams. Their ideal is the development of each and everyone.

4. ENVIRONMENTING -- embracing all elements

Integral engineers are conscious of the influence of technology on the world, and vice versa. This is why they take into account the impact of their actions on ethics, ecology, aesthetics and economics within a globalizing and ever-evolving world.

5. ENSEMBLING -- transcending and including

Integral engineers see the coherence of things. By differentiating and integrating, and approaching all things from different angles, they achieve deeper insights and arrive at ever richer experiences.

Based on a review of this document, the following minor changes were made to the Syllabus in version 2.0:

- 2.4.5 -- Add Knowledge Integration (Ensembling)
- 2.4.6 -- Educating was added

While helpful in rounding out the Syllabus, these modest changes do not necessarily capture the full scope of DeGraeve’s vision of engineering education.

The net result of this process of comparison with national accreditation and evaluation document, user and other feedback is the revised version 2.0 of the CDIO Syllabus, found in Appendix A and Appendix B.

Leadership and entrepreneurship

In modern society, engineers are increasingly expected to move to positions of leadership and to take on additional roles as entrepreneurs. Leadership is not necessarily positional, that is, a leader need not be a boss, manager, director or president. *Leadership* refers to the role of helping to organize effort, create vision, and facilitate the work of others. In the context of engineering, senior engineers are the ones who most often lead. *Entrepreneurship* in this context refers to the specific activity of creating and leading a new enterprise. Many, but not all, new enterprises are built around a product or technology, and involve entrepreneurial engineers. In this section, we explore the degree to which *leadership* and *entrepreneurship* are already included in the CDIO Syllabus v2.0, and the extensions that are necessary to more adequately address these two important roles of engineers.

Engineering leadership and entrepreneurship are not orthogonal to the skills already contained in the CDIO Syllabus. After all, the goal of the CDIO approach is “To educate students who are able to:

- Master a deeper working knowledge of technical fundamentals
- *Lead* in the creation and operation of new products, processes, and systems...” [1]

The knowledge, skills, and attitudes needed in the creation and operation of new products, processes, and systems should, therefore, already be contained in the CDIO Syllabus. In fact, there is a broad overlap, both between leadership and entrepreneurship, and between the two of them and the skills already in the Syllabus. To a certain extent, the three are just different profiles of the same broader set of skills, as suggested in Figure 6. This Venn diagram suggests the organization of the discussion that follows. We have already reviewed the CDIO Syllabus v2.0. Here, we discuss what could be added to expand the topics in the Syllabus beyond the already proposed modifications, to include *Engineering Leadership*. Finally, we examine what other topics are needed to embrace *Entrepreneurship*.

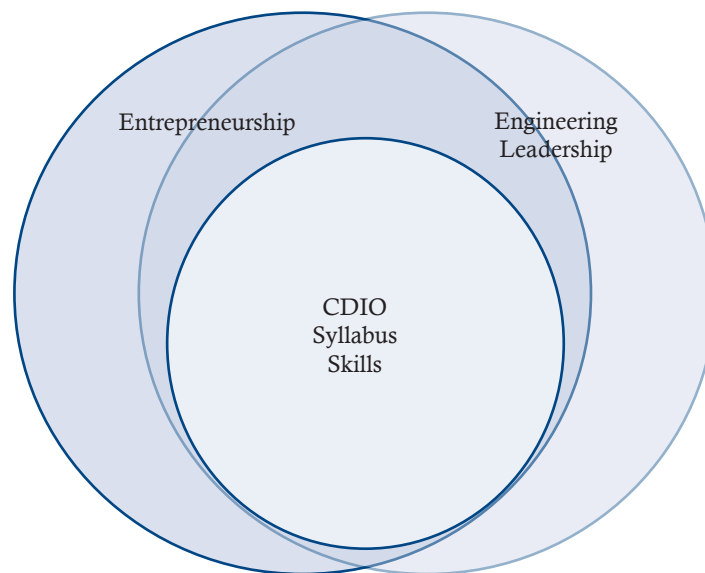


Figure 5. The overlapping relationship between the knowledge, skills and attitudes in the CDIO Syllabus, engineering leadership, and entrepreneurship

We recognize that many programs that use the CDIO Syllabus do not address leadership and entrepreneurship in their programs. For this reason, we have created an extension of the CDIO Syllabus for Leadership and Entrepreneurship, with the additional content discussed below. (see Appendix A and Appendix B).

The Expansion of the CDIO Syllabus to Include Engineering Leadership

Some, if not all, engineers will move, at some point in their careers, to positions of technical or engineering leadership, ranging from being a leader of a small team, to being the technical leader of an entire enterprise. Leadership is explicitly discussed in Section 3.1.4 of the CDIO Syllabus, but this topic discusses the skills needed in leading small groups, and is only a placeholder for the wider set of skills that an engineering leader is required to have. These skills include character traits, such as loyalty and integrity, and abilities, such as the ability to make sense of complex contextual information, to relate and persuade, to create transformational visions, and to deliver on those visions. In this section, we discuss relevant contemporary models of leadership, and propose extensions to the CDIO Syllabus.

Leadership Models

Much has been written over the years about the qualities of a leader. In contemporary scholarship, organizational leadership is closely studied by those in organizational behavior groups, often at schools of business or management. Diverse fields, including business, government, and the military have adopted these organizational models, and customized them to their respective domains. Generic models of leadership, then, can be customized for engineering contexts.

Among the many views of leadership development, the general approaches that may best fit

engineering contexts are those that function in environments of change, uncertainty, and the deliberate pursuit of invention. [19] One school of thought that stands out is *Transformational Leadership* because of its emphasis on a driving need to change and to mobilize resources in new ways, requiring new visions of the future. [20] This model resonates with leaders of groups that use applied science and engineering to generate new products that may require redefining markets and business models.

Contingency theory reminds leaders that over time no single approach to leadership will fit all situations, and one must continually assess one's environment to provide appropriate leadership. [21] This approach thus incorporates the importance of providing vision and strong direction in one circumstance, and also recognizes when one might lead best by creating a stable and supportive environment in which others might lead. This view suggests that engineering leadership in a change-driven environment is situational. [22] The complex and specialized nature of engineering requires that leadership be found everywhere. There are instances when one must be able to listen to the technician on the shop floor who might be the first to see the solution to a design-for-production problem. In advancing technical fields, the individuals looking outward from the company at new technologies, and those working in an organization's laboratories, provide a kind of technology leadership. Others who follow markets, and observe novel uses of products that are enhancing or eroding markets, must exert a kind of situational leadership as well. All of these leaders need first to recognize that change is occurring, to make sense of what they are seeing and to communicate effectively with others.

The Four Capabilities Leadership Framework

The *Four Capabilities Leadership Framework*, developed at the Sloan School of Management at MIT, provides a scheme that organizes key leadership concepts as a foundation for engineering leadership education. [23] It begins with four assumptions: that

leadership is distributed; that it is personal; that it continues to develop throughout one's career, and thus changes over time; and that each individual invents his/her own framework for how he/she will lead. The central skills are

1. *Sensemaking* -- making sense of the context of the changing world around us, including the use of small experiments to test and gain information
2. *Relating* -- developing trusted relationships with diverse individuals, using inquiry to know how to communicate effectively, and leadership through advocacy, even if one is not a formal leader
3. *Visioning* -- both to create a vision for oneself and to convey that vision to others
4. *Realizing the Vision (Inventing)* -- takes on a more complex meaning for engineers. Engineering leaders, like other leaders, need to invent ways to think through situations, and create ways of organizing their work with others. For engineers, the tasks of organizing work are central to their profession. This organization may involve establishing design teams, designing, setting up production and implementation, establishing who will do testing and by what means, operating, and a host of other activities.

The Bernard M. Gordon – MIT Engineering Leadership Program adapted this generic model of leadership to the context of engineering. Two sets of skills were added to the MIT Sloan Four Capabilities Model. The first set includes issues of leadership that have to do with attitudes and character, for example, initiative, the will to deliver, resourcefulness, integrity, and loyalty. The second set concentrates on a firm foundation of engineering knowledge and skills. The customized leadership model has six central skills:

1. The Attitudes of Leadership - Core Personal Values and Character
2. Relating to Others
3. Making Sense of the Context
4. Creating a Purposeful Vision

5. Realizing the Vision
6. Technical Knowledge and Critical Reasoning

Information about the *Gordon-MIT Engineering Leadership Program* can be found at <http://web.mit.edu/gordonelp>.

Comparing the structure of the *Gordon-MIT Engineering Leadership Program Capabilities of an Engineering Leader* with the CDIO Syllabus reveals a great deal of overlap. Version 2.0 of the Syllabus captures virtually all of the ideas contained in the first three sections of the *Capabilities of an Engineering Leader*, namely:

- **Attitudes of Leadership – Core Personal Values and Character**, including topics in Attitudes, Thought and Learning (2.4), and in Ethics, Equity and Other Responsibilities (2.5)
- **Relating to Others**, including topics in Teamwork (3.1), Communications (3.2) and potentially Communications in Foreign Languages (3.3)
- **Making Sense of Context**, including topics in External, Societal and Environmental Context (4.1), Enterprise and Business Context (4.2) Conceiving, Systems Engineering and Management (4.3) and System Thinking (2.3)

In addition, a new section 4.7 *Leading Engineering Endeavors* has been added to the Extended Syllabus v2.0. This new section defines the remaining topics in *Creating a*

Purposeful Vision (4.7.1 to 4.7.4) and *Realizing the Vision* (4.7.5 to 4.7.10). (see Appendix A and Appendix B)

Creating a Purposeful Vision

- 4.7.1 – *Identifying the Issue, Problem or Paradox* (expands 4.3.1)
- 4.7.2 -- *Thinking Creatively and Imagining Possibilities* (expands 2.4.3)

4.7.3 -- *Defining the Solution* (expands 4.3.1)

4.7.4 -- *Creating New Solution Concepts* (expands 4.3.2 and 4.3.3)

Realizing the Vision

4.7.5 -- *Building and Leading an Organization and an Extended Organization* (builds on 4.2.4 and 4.2.5)

4.7.6 -- *Planning and Managing a Project to Completion* (builds on 4.3.4)

4.7.7 -- *Exercising Project/Solution Judgment and Critical Reasoning* (builds on 2.3.4 and 2.4.4)

4.7.8 -- *Innovation – the conception, design and introduction of new goods and services* (the leadership of 4.3 and 4.4)

4.7.9 -- *Invention – the development of new devices, materials or processes that enable new goods and services* (expands 4.2.6)

4.7.10 -- *Implementation and Operation – the creation and operation of the goods and services that will deliver value* (the leadership of 4.5 and 4.6)

The Expansion of the CDIO Syllabus to Include Entrepreneurship

Successful engineering entrepreneurship consists of engineering, plus engineering leadership, plus specific domain knowledge associated with business formulation and start-ups. As illustrated in Figure 6, we now define the knowledge and skills necessary for *Entrepreneurship*, over and above those described in the baseline CDIO Syllabus, v. 2.0, with the extension for engineering *Leadership*. Again, we examine appropriate models of entrepreneurship on which to base the discussion.

In the view of classical economics, *entrepreneurship* involves the redirection and mobilization of capital and human resources to form a new economic activity. This perspective considers any major innovation in an established firm to be entrepreneurship if it involves a novel economic activity that departs from the firm's prior business model, and accepts

the risks of placing substantial investments in new products and creating new markets that did not previously exist. Today, the term *entrepreneurship* generally refers exclusively to starting a new company, while launching a radically new line of business is sometimes called *intrapreneurship*, or more simply *innovation* (as was discussed in a previous section). [24]

Engineering education should prepare students for both forms of entrepreneurship, which are more easily accommodated than intrapreneurship. In many instances, science- and technology-based discovery and invention in established companies may not require business innovation because often they do not require changes in markets. When engineering is a major component of a product that is intended to disrupt existing markets, much more care is needed in the design process, and the engineer needs to understand the trade-offs between product novelty and importance of time to market, product margins and hurdle rates needed to justify company investment, and other business considerations that influence design and implementation strategies. These issues are well addressed in the product development literature and can be included without difficulty in any engineer's education. In the context of the CDIO Syllabus, these aspects of learning would be largely addressed by the modifications discussed with respect to innovation.

Preparation for entrepreneurship, that is, the start of a new company, involves unique competencies. There are analogues, such as the similarity between recognizing new opportunities enabled by advancing technology, or writing business plans for either a new product line or a new company. However, there is an array of skills that engineers in an established company might never face, such as finding and hiring an entire company of talented professionals willing to accept risk, using equity to motivate innovation, or creating a new company culture where none existed.

In order to capture these additional skills of entrepreneurship, Section 4.8 was added to the Extended Syllabus v2.0. This new section includes the

following topics: (see

Appendix A and Appendix B)

4.8.1 -- *Company Founding, Formulation, Leadership and Organization*

4.8.2 -- *Business Plan Development*

4.8.3 -- *Company Capitalization and Finances*

4.8.4 -- *Innovative Product Marketing*

4.8.5 -- *Conceiving Products and Services Around New Technologies*

4.8.6 -- *The Innovation System, Networks, Infrastructure, and Services*

4.8.7 -- *Building the Team and Initiating Engineering Processes (conceiving, designing, implementing and operating)* • 4.8.8 -- *Managing Intellectual Property*

Summary

This paper has presented the following key concepts:

- The CDIO Syllabus was designed to be a rational, detailed, and relatively complete taxonomy for the knowledge, skills, and attitudes that graduating engineers should possess; and, it has been stable for almost ten years
- Its high-level structure was shown to be consistent with the Four Pillars of Learning outlined by UNESCO
- The Syllabus was instrumental in the design of constructively aligned learning outcomes, curricula, teaching approaches, student learning assessment, and program evaluation, and was found to be an effective way in which faculty communicate and benchmark their practice
- The CDIO Syllabus showed very good alignment with other outcomes-based taxonomies developed by national accreditation and evaluation bodies, and in many cases, was found to be more comprehensive and more detailed
- Based on comparisons with other taxonomies, and the frequent user questions raised over the years, particularly concerning innovation, invention, internationalization and sustainability, modifications in content and in labeling have been incorporated into Version 2.0 of the CDIO Syllabus

- In order to meet the needs of programs that explicitly address engineering leadership and entrepreneurship, an optional extension to the CDIO Syllabus has been developed .

Benefits of the CDIO Syllabus were shown to apply to individual faculty, students, the engineering world, and the larger academic community.

- The detail in the CDIO Syllabus allowed individual faculty to gain detailed insight into its content and objectives, contemplate the deployment of these skills into a curriculum, and prepare teaching and assessment plans
- Adopting and disseminating the CDIO Syllabus facilitated comprehensive and rigorous education in its topics that benefited o students who enter engineering practice or research
 - industry that will reap the rewards of new engineers prepared to take the reigns of leadership, and
 - humankind who will enjoy improvement to the quality of life that comes with better products and services
- Widespread adoption of the CDIO Syllabus also facilitated the sharing of best curricular and pedagogic approaches, and promoted the development of standardized assessment tools, which resulted in better outcomes-based assessment.

References

- Crawley, E. F., Malmqvist, J., Östlund, S., and Brodeur, D. R., *Rethinking Engineering Education: The CDIO Approach*, Springer-Verlag, New York, 2007.
- Crawley, E. F., Cha Jianzhong, Malmqvist, J., and Brodeur, D.R., “The Context of Engineering Education”, *Proceedings of the 4th International CDIO Conference*, Hogeschool Gent, Gent, Belgium, June 16-19, 2008.
- Crawley, E. F., *The CDIO Syllabus: A Statement of Goals for Undergraduate Engineering Education*, Department of Aeronautics and Astronautics, Massachusetts Institute of Technology, 2001. Available at <http://www.cdio.org>. Accessed June 15, 2011.
- Accreditation Board of Engineering and Technology, *Criteria for Accrediting Engineering Programs: Effective for Evaluations during the 2010-2012 Accreditation Cycle*, 2010. Available at <http://www.abet.org>. Accessed June 15, 2011.
- European Commission: DG Education and Culture, *The European Qualification Framework for Lifelong Learning (EQF)*, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 2008.
- ENAAE (European Network for Accreditation of Engineering Education), *EUR-ACE Framework Standards for the Accreditation of Engineering Programmes*, 2008. Available at <http://www.enaee.eu/the-eur-ace-system/eur-ace-framework-standards/>. Accessed June 15, 2011.
- Delors, J., et al., *Learning – the Treasure Within: Report to UNESCO of the International Commission on Education for the Twenty-First Century*, UNESCO Publishing, Paris, France, 1996.
- Biggs, J., *Teaching for Quality Learning At University, 2nd ed.*, The Society for Research into Higher Education and Open University Press, Berkshire: England, 2003.
- Wiggins, G., and McTighe, J., *Understanding by Design*, exp. 2nd ed., Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 2005.
- The Boeing Company, “Desired Attributes of an Engineer: Participation with Universities”, 1996. Available at <http://www.boeing.com/educationrelations/attributes.html>. Accessed June 15, 2011.
- Högskoleverket, *Utvärdering av utbildningar till civilingenjör vid svenska universitet och högskolor – fulltextversion (Evaluation of “Civilingenjör” Degree Programs at Swedish Universities)*, Rapport 2006:8 R, Högskoleverket, Stockholm, Sweden, 2006.
- Canadian Engineering Accreditation Board (CEAB), *Accreditation Criteria and Procedures*, 2010. Available at http://www.engineerscanada.ca/e/pu_ab.cfm. Accessed June 15, 2011.
- Cloutier, G., Hugo, R., and Sellens, R., “Mapping the Relationship Between the CDIO Syllabus and the CEAB Graduate Attributes: An Update”, *Proceedings of the 7th International CDIO Conference*, Technical University of Denmark, Copenhagen, June 2023, 2011.
- Malmqvist, J., *Relation between the Dublin Descriptors and Program Goal Statements based on the CDIO Syllabus*, Technical Report, Chalmers University of Technology, Göteborg, 2006.
- Malmqvist, J., “A Comparison of the CDIO and EUR-ACE Quality Assurance Systems”, *Proceedings of the 5th International CDIO Conference*, Singapore Polytechnic, Singapore, 2009.
- The World Commission on Environment and Development (WCED), *Our Common Future*. Oxford University Press, Oxford, UK. 1987.
- Knutson Wedel, M., Malmqvist, J., Arehag, M., Svanström, M. “Implementing Engineering Education for Environmental Sustainability into CDIO Programs”, *Proceedings of the 4th International CDIO Conference*, Gent, Belgium, 2008.
- Group T, Leuven, Belgium, *Key Terms: The Five E’s*. Available at http://www.groupt.be/www/bachelor_

programs/vision_of_engineering/key-terms-the-5-es. Accessed June 15, 2011.

Boynton, A., and Fischer, B., *Virtuoso Teams: Lessons From Teams That Changed Their Worlds*, Prentice-Hall, New York, 2005.

Bass, B. M., *Transformational Leadership*, Lawrence Erlbaum, London, 1998.

Northouse, P. G., *Leadership: Theory and Practice*, 4th ed., Sage Publications, Thousand Oaks, California, 2007.

Burton, R. M., Eriksen, B., and Hakonsson, D. D., *Organizational Design: The Evolving State of the Art*, Springer, New York, 2006.

Ancona, D., *Leadership in the Age of Uncertainty*. Available at <http://mitleadership.mit.edu/pdf/LeadershipinanAgeofUncertainty-researchbrief.pdf>. Accessed June 15, 2011.

Menzel, H. C., Aaltio, I., and Aaltio, U., “On the Way to Creativity: Engineering as Intrapreneurship in Organizations”, *Technovation*, 27, 2007, 732-743.

Biographical information

Edward F. Crawley is Ford Professor of Engineering, and Professor of Aeronautics and

Astronautics and of Engineering Systems at MIT. He is Co-Director of the CDIO Initiative, and co-authored *Rethinking Engineering Education: The CDIO Approach*. He currently directs the MIT-Bernard M. Gordon Engineering Leadership Program, and can be reached at crawley@mit.edu.

Johan Malmqvist is Professor in Product Development and Dean of Education at

Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden. He is Co-Director of the CDIO Initiative, and co-authored *Rethinking Engineering Education: The CDIO Approach*. His current research focuses on information management in the product development process (PLM), development of product-service systems, and curriculum development methodology. He can be reached at johan.malmqvist@chalmers.se.

William A. Lucas is Director of Research for the MIT-Bernard M. Gordon Engineering Leadership Program. He conducts research on the role of self-efficacy and intention in engineering and entrepreneurship education, and has assessed numerous educational programs in the United States and the United Kingdom. He can be reached at walucas@mit.edu.

Doris R. Brodeur is Professor of Education, serving as an Assessment and Evaluation

Specialist at MIT. She co-authored *Rethinking Engineering Education: The CDIO Approach*, and designs and conducts workshops on the CDIO approach. She can be reached at dbrodeur@mit.edu.

Corresponding Author

Dr. Edward F. Crawley
Massachusetts Institute of Technology
77 Massachusetts Avenue – 33-402 Cambridge,
MA 02139 1-617-253-3251 crawley@mit.edu

Appendix

The CDIO Syllabus v2.0

June 2011

1. Disciplinary knowledge and reasoning

(unesco: learning to know)

1.1. Knowledge of underlying mathematics and sciences [3a]

1.1.1. Mathematics (including statistics)

1.1.2. Physics

1.1.3. Chemistry

1.1.4. Biology

1.2. Core engineering fundamental knowledge [3a]

1.3. Advanced engineering fundamental knowledge, methods and tools [3k]

2. Personal and professional skills and attributes (unesco: learning to be)

2.1. Analytic reasoning and problem solving [3e]

2.1.1. Problem Identification and Formulation

- Data and symptoms
- Assumptions and sources of bias
- Issue prioritization in context of overall goals
- A plan of attack (incorporating model, analytical and numerical solutions, qualitative analysis, experimentation and consideration of uncertainty)

2.1.2. Modeling

- Assumptions to simplify complex systems and environment

- Conceptual and qualitative models
- Quantitative models and simulations

2.1.3. Estimation and Qualitative Analysis Orders of magnitude, bounds and trends

- Tests for consistency and errors (limits, units, etc.)
- The generalization of analytical solutions

2.1.4. Analysis with Uncertainty

- Incomplete and ambiguous information
- Probabilistic and statistical models of events and sequences
- Engineering cost-benefit and risk analysis
- Decision analysis
- Margins and reserves

2.1.5. Solution and Recommendation

- Problem solutions
- Essential results of solutions and test data
- Discrepancies in results
- Summary recommendations
- Possible improvements in the problem solving process

2.2. Experimentation, investigation and knowledge discovery [3b]

2.2.1. Hypothesis Formulation

- Critical questions to be examined
- Hypotheses to be tested
- Controls and control groups

2.2.2. Survey of Print and Electronic Literature

- The literature and media research strategy
- Information search and identification using library, on-line and database tools

- Sorting and classifying the primary information
- The quality and reliability of information
- The essentials and innovations contained in the information
- Research questions that are unanswered
- Citations to references

2.2.3. Experimental Inquiry

- The experimental concept and strategy
- The precautions when humans are used in experiments
- Investigations based on social science methods
- Experiment construction
- Test protocols and experimental procedures
- Experimental measurements
- Experimental data
- Experimental data vs. available models

2.2.4. Hypothesis Test and Defense The statistical validity of data

- The limitations of data employed
- Conclusions, supported by data, needs and values
- Possible improvements in knowledge discovery process

2.3. System thinking

2.3.1. Thinking Holistically

- A system, its function and behavior, and its elements
- Transdisciplinary approaches that ensure the system is understood from all relevant perspectives
- The societal, enterprise and technical context of the system
- The interactions external to the system, and the behavioral impact of the system

2.3.2. Emergence and Interactions in Systems

- The abstractions necessary to define and model the entities or elements of the system

- The important relationships, interactions and interfaces among elements
- The functional and behavioral properties (intended and unintended) that emerge from the system
- Evolutionary adaptation over time

2.3.3. Prioritization and Focus

- All factors relevant to the system in the whole
- The driving factors from among the whole
- Energy and resource allocations to resolve the driving issues

2.3.4. Trade-offs, Judgment and Balance in Resolution Tensions and factors to resolve through trade-offs

- Solutions that balance various factors, resolve tensions and optimize the system as a whole
- Flexible vs. optimal solutions over the system lifetime
- Possible improvements in the system thinking used

2.4. ATTITUDES, THOUGHT AND LEARNING

2.4.1. Initiative and Willingness to Make Decisions in the Face of Uncertainty

- The needs and opportunities for initiative
- Leadership in new endeavors, with a bias for appropriate action
- Decisions, based on the information at hand
- Development of a course of action
- The potential benefits and risks of an action or decision

2.4.2. Perseverance, Urgency and Will to Deliver, Resourcefulness and Flexibility

- Sense of responsibility for outcomes
- Self-confidence, courage and enthusiasm

- Determination to accomplish objectives
- The importance of hard work, intensity and attention to detail
- Definitive action, delivery of results and reporting on actions
- Adaptation to change
- Making ingenious use of the resources of the situation or group
- A readiness, willingness and ability to work independently
- A willingness to work with others, and to consider and embrace various viewpoints
- An acceptance of feedback, criticism and willingness to reflect and respond
- The balance between personal and professional life.

2.4.3. Creative Thinking

- Conceptualization and abstraction
- Synthesis and generalization
- The process of invention
- The role of creativity in art, science, the humanities and technology

2.4.4. Critical Thinking

- Purpose and statement of the problem or issue
- Assumptions
- Logical arguments (and fallacies) and solutions
- Supporting evidence, facts and information
- Points of view and theories
- Conclusions and implications
- Reflection on the quality of the thinking

2.4.5. Self-Awareness, Metacognition and Knowledge Integration

- One's skills, interests, strengths and weaknesses
- The extent of one's abilities, and one's responsibility for self-improvement to overcome important weaknesses

- The importance of both depth and breadth of knowledge
- Identification of how effectively and in what way one is thinking
- Linking knowledge together and identifying the structure of knowledge

2.4.6. Lifelong Learning and Educating [3i]

- The motivation for continued self-education
- The skills of self-education
- One's own learning styles
- Relationships with mentors
- Enabling learning in others

2.4.7. Time and Resource Management

- Task prioritization
- The importance and/or urgency of tasks
- Efficient execution of tasks

2.5. Ethics, equity and other responsibilities [3f]

2.5.1. Ethics, Integrity and Social Responsibility One's ethical standards and principles

- The moral courage to act on principle despite adversity
- The possibility of conflict between professionally ethical imperatives
- A commitment to service
- Truthfulness
- A commitment to help others and society more broadly

2.5.2. Professional Behavior A professional bearing

- Professional courtesy
- International customs and norms of interpersonal contact

2.5.3. Proactive Vision and Intention in Life a personal vision for one's future

- Aspiration to exercise his/her potentials as a leader

- One's portfolio of professional skills
- Considering one's contributions to society Inspiring others

2.5.4. Staying Current on the World of Engineering

- The potential impact of new scientific discoveries
- The social and technical impact of new technologies and innovations
- A familiarity with current practices/technology in engineering
- The links between engineering theory and practice

2.5.5. Equity and Diversity

- A commitment to treat others with equity
- Embracing diversity in groups and workforce
- Accommodating diverse backgrounds
- Loyalty to one's colleagues and team
- Recognizing and emphasizing the contributions of others
- Working to make others successful

3. Interpersonal skills: teamwork and communication (unesco: learning to live together)

3.1. Teamwork [3d]

3.1.1. Forming Effective Teams

- The stages of team formation and life cycle
- Task and team processes
- Team roles and responsibilities
- The goals, needs and characteristics (works styles, cultural differences) of individual team members
- The strengths and weaknesses of the team and its members

- Ground rules on norms of team confidentiality, accountability and initiative

3.1.2. Team Operation Goals and agenda

- The planning and facilitation of effective meetings
- Team ground rules
- Effective communication (active listening, collaboration, providing and obtaining information)
- Positive and effective feedback
- The planning, scheduling and execution of a project
- Solutions to problems (team creativity and decision making)
- Conflict mediation, negotiation and resolution
- Empowering those on the team

3.1.3. Team Growth and Evolution

- Strategies for reflection, assessment and self-assessment
- Skills for team maintenance and growth
- Skills for individual growth within the team
- Strategies for team communication and reporting.

3.1.4. Team Leadership

- Team goals and objectives
- Team process management
- Leadership and facilitation styles (directing, coaching, supporting, delegating)
- Approaches to motivation (incentives, example, recognition, etc.)
- Representing the team to others
- Mentoring and counseling

3.1.5. Technical and Multidisciplinary Teaming Working in different types of teams:

- Cross-disciplinary teams (including non-engineer)
- Small team vs. large team
- Distance, distributed and electronic environments

- Technical collaboration with team members
- Working with non-technical members and teams

3.2. Communications [3g]

3.2.1. Communications Strategy The communication situation

- Communications objectives
- The needs and character of the audience
- The communication context
- A communications strategy
- The appropriate combination of media
- A communication style (proposing, reviewing, collaborating, documenting, teaching) The content and organization

3.2.2. Communications Structure Logical, persuasive arguments

- The appropriate structure and relationship amongst ideas
- Relevant, credible, accurate supporting evidence
- Conciseness, crispness, precision and clarity of language
- Rhetorical factors (e.g. audience bias)
- Cross-disciplinary cross-cultural communications

3.2.3. Written Communication

- Writing with coherence and flow
- Writing with correct spelling, punctuation and grammar
- Formatting the document
- Technical writing
- Various written styles (informal, formal memos, reports, resume, etc.)

3.2.4. Electronic/Multimedia Communication Preparing electronic presentations

- The norms associated with the use of e-mail, voice mail, and videoconferencing Various electronic styles (charts, web, etc)

3.2.5. Graphical Communications Sketching and drawing

- Construction of tables, graphs and charts
- Formal technical drawings and renderings
- Use of graphical tools

3.2.6. Oral Presentation

- Preparing presentations and supporting media with appropriate language, style, timing and flow
- Appropriate nonverbal communications (gestures, eye contact, poise) Answering questions effectively

3.2.7. Inquiry, Listening and Dialog

- Listening carefully to others, with the intention to understand
- Asking thoughtful questions of others
- Processing diverse points of view
- Constructive dialog
- Recognizing ideas that may be better than your own

3.2.8. Negotiation, Compromise and Conflict Resolution

- Identifying potential disagreements, tensions or conflicts
- Negotiation to find acceptable solutions
- Reaching agreement without compromising fundamental principles Diffusing conflicts

3.2.9. Advocacy

- Clearly explaining one's point of view
- Explaining how one reached an interpretation or conclusion
- Assessing how well you are understood
- Adjusting approach to advocacy on audience characteristics

3.2.10. Establishing Diverse Connections and Networking

- Appreciating those with different skills, cultures or experiences
- Engaging and connecting with diverse individuals
- Building extended social networks
- Activating and using networks to achieve goals

3.3. Communications in foreign languages

3.3.1 Communications in English

3.3.2 Communications in Languages of Regional Commerce and Industry

3.3.3 Communications in Other Languages

4. Conceiving, designing, implementing and operating systems in the enterprise, societal and environmental context – the innovation process

(Unesco: learning to do)

4.1 External, societal and environmental context [3h]

4.1.1. Roles and Responsibility of Engineers

- The goals and roles of the engineering profession
- The responsibilities of engineers to society and a sustainable future

4.1.2. The Impact of Engineering on Society and the Environment

- The impact of engineering on the environmental, social, knowledge and economic systems in modern culture

4.1.3. Society's Regulation of Engineering

- The role of society and its agents to regulate engineering

- The way in which legal and political systems regulate and influence engineering
- How professional societies license and set standards
- How intellectual property is created, utilized and defended

4.1.4. The Historical and Cultural Context

- The diverse nature and history of human societies as well as their literary, philosophical and artistic traditions
- The discourse and analysis appropriate to the discussion of language, thought and values

4.1.5. Contemporary Issues and Values [3j]

- The important contemporary political, social, legal and environmental issues and values
- The processes by which contemporary values are set, and one's role in these processes The mechanisms for expansion and diffusion of knowledge

4.1.6. Developing a Global Perspective

- The internationalization of human activity
- The similarities and differences in the political, social, economic, business and technical norms of various cultures
- International and intergovernmental agreements and alliances.

4.1.7. Sustainability and the Need for Sustainable Development

- Definition of sustainability
- Goals and importance of sustainability
- Principles of sustainability
- Need to apply sustainability principles in engineering endeavors

4.2. Enterprise and business context

4.2.1 Appreciating Different Enterprise Cultures

- The differences in process, culture, and metrics of success in various enterprise

cultures: Corporate vs. academic vs. governmental vs. non-profit/NGO

- Market vs. policy driven
- Large vs. small
- Centralized vs. distributed
- Research and development vs. operations
- Mature vs. growth phase vs. entrepreneurial
- Longer vs. faster development cycles
- With vs. without the participation of organized labor

4.2.2. Enterprise Stakeholders, Strategy and Goals

- The stakeholders and beneficiaries of an enterprise (owners, employees, customers, etc.)
- Obligations to stakeholders
- The mission, scope and goals of the enterprise
- Enterprise strategy and resource allocation
- An enterprise's core competence and markets
- Key alliances and supplier relations

4.2.3. Technical Entrepreneurship

- Entrepreneurial opportunities that can be addressed by technology
- Technologies that can create new products and systems
- Entrepreneurial finance and organization

4.2.4. Working in Organizations The function of management

- Various roles and responsibilities in an organization
- The roles of functional and program organizations
- Working effectively within hierarchy and organizations
- Change, dynamics and evolution in organizations

4.2.5. Working in International Organizations

- Culture and tradition of enterprise as a reflection of national culture
- Equivalence of qualifications and degrees
- Governmental regulation of international work

4.2.6. New Technology Development and Assessment The research and technology development process

- Identifying and assessing technologies
- Technology development roadmaps
- Intellectual property regimes and patents

4.2.7. Engineering Project Finance and Economics Financial and managerial goals and metrics

- Project finance – investments, return, timing
- Financial planning and control
- Impact of projects on enterprise finance, income and cash

4.3. Conceiving, system engineering and management [3c]

4.3.1. Understanding Needs and Setting Goals

- Needs and opportunities
- Customer needs, and those of the market
- Opportunities that derive from new technology or latent needs Environmental needs
- Factors that set the context of the system goals
- Enterprise goals, strategies, capabilities and alliances
- Competitors and benchmarking information
- Ethical, social, environmental, legal and regulatory influences
- The probability of change in the factors that influence the system, its goals and resources available

- System goals and requirements
- The language/format of goals and requirements
- Initial target goals (based on needs, opportunities and other influences)
- System performance metrics
- Requirement completeness and consistency

4.3.2. Defining Function, Concept and Architecture

- Necessary system functions (and behavioral specifications)
- System concepts
- Incorporation of the appropriate level of technology
- Trade-offs among and recombination of concepts
- High-level architectural form and structure
- The decomposition of form into elements, assignment of function to elements, and definition of interfaces

4.3.3. System Engineering, Modeling and Interfaces

- Appropriate models of technical performance and other attributes
- Consideration of implementation and operations
- Life cycle value and costs (design, implementation, operations, opportunity, etc.)
- Trade-offs among various goals, function, concept and structure and iteration until convergence
- Plans for interface management

4.3.4. Development Project Management

- Project control for cost, performance and schedule Appropriate transition points and reviews
- Configuration management and documentation

- Performance compared to baseline Earned value recognition
- The estimation and allocation of resources
- Risks and alternatives
- Possible development process improvements

4.4. Designing [3c]

4.4.1. The Design Process

- Requirements for each element or component derived from system level goals and requirements
- Alternatives in design
- The initial design
- Life cycle consideration in design
- Experimental prototypes and test articles in design development
- Appropriate optimization in the presence of constraints
- Iteration until convergence
- The final design
- Accommodation of changing requirements

4.4.2. The Design Process Phasing and Approaches

- The activities in the phases of system design (e.g. conceptual, preliminary and detailed design)
- Process models appropriate for particular development projects (waterfall, spiral, concurrent, etc.)
- The process for single, platform and derivative products

4.4.3. Utilization of Knowledge in Design Technical and scientific knowledge

- Modes of thought (problem solving, inquiry, system thinking, creative and critical thinking)
- Prior work in the field, standardization and reuse of designs (including reverse

engineering and refactoring, redesign)
Design knowledge capture

4.4.4. Disciplinary Design

- Appropriate techniques, tools and processes
- Design tool calibration and validation
- Quantitative analysis of alternatives
- Modeling, simulation and test
- Analytical refinement of the design

4.4.5. Multidisciplinary Design

- Interactions between disciplines
- Dissimilar conventions and assumptions
- Differences in the maturity of disciplinary models
- Multidisciplinary design environments
- Multidisciplinary design

4.4.6. Design for Sustainability, Safety, Aesthetics, Operability and Other Objectives Design for:

- Performance, quality, robustness, life cycle cost and value
- Sustainability
- Safety and security
- Aesthetics
- Human factors, interaction and supervision
- Implementation, verification, test and environmental sustainability
- Operations
- Maintainability, dependability and reliability
- Evolution, product improvement
- Retirement, reusability and recycling

4.5. Implementing [3c]

4.5.1. Designing a Sustainable Implementation Process

- The goals and metrics for implementation performance, cost and quality The implementation system design: Task allocation and cell/unit layout

- Work flow
- Considerations for human user/operators
- Consideration of sustainability

4.5.2. Hardware Manufacturing Process

- The manufacturing of parts
- The assembly of parts into larger constructs
- Tolerances, variability, key characteristics and statistical process control

4.5.3. Software Implementing Process

- The break down of high-level components into module designs (including algorithms and data structures)
- Algorithms (data structures, control flow, data flow)
- The programming language and paradigms
- The low-level design (coding)
- The system build

4.5.4. Hardware Software Integration

- The integration of software in electronic hardware (size of processor, communications, etc.)
- The integration of software with sensor, actuators and mechanical hardware
- Hardware/software function and safety

4.5.5. Test, Verification, Validation and Certification

- Test and analysis procedures (hardware vs. software, acceptance vs. qualification)
- The verification of performance to system requirements
- The validation of performance to customer needs
- The certification to standards

4.5.6. Implementation Management

- The organization and structure for implementation
- Sourcing and partnering
- Supply chains and logistics
- Control of implementation cost, performance and schedule
- Quality assurance
- Human health and safety
- Environmental security
- Possible implementation process improvements

4.6. Operating [3c]

4.6.1. Designing and Optimizing Sustainable and Safe Operations

- The goals and metrics for operational performance, cost and value
- Sustainable operations
- Safe and secure operations
- Operations process architecture and development
- Operations (and mission) analysis and modeling

4.6.2. Training and Operations

- Training for professional operations:
- Simulation
- Instruction and programs
- Procedures
- Education for consumer operation
- Operations processes
- Operations process interactions

4.6.3. Supporting the System Life Cycle

- Maintenance and logistics
- Life cycle performance and reliability
- Life cycle value and costs
- Feedback to facilitate system improvement

4.6.4. System Improvement and Evolution Pre-planned product improvement

- Improvements based on needs observed in operation

- Evolutionary system upgrades
- Contingency improvements/solutions resulting from operational necessity

4.6.5. Disposal and Life-End Issues

- The end of useful life
- Disposal options
- Residual value at life-end
- Environmental considerations for disposal

4.6.6. Operations Management

- The organization and structure for operations
- Partnerships and alliances
- Control of operations cost, performance and scheduling
- Quality and safety assurance
- Possible operations process improvements
- Life cycle management
- Human health and safety Environmental security

The Extended CDIO Syllabus: Leadership and Entrepreneurship

This extension to the CDIO Syllabus is provided as a resource for programs that seek to respond to stakeholder expressed needs in the areas of Engineering Leadership and Entrepreneurship

4.7. Leading engineering endeavors

Engineering Leadership builds on factors already included above, including:

- **Attitudes of Leadership** – Core Personal Values and Character, including topics in Attitudes, Thought and Learning (2.4), and in Ethics, Equity and Other Responsibilities (2.5)
- **Relating to Others**, including topics in Teamwork (3.1), Communications

(3.2) and potentially Communications in Foreign Languages (3.3)

- **Making Sense of Context**, including topics in External, Societal and Environmental Context (4.1), Enterprise and Business Context (4.2) Conceiving, Systems Engineering and Management (4.3) and System Thinking (2.3)

In addition there are several topics that constitute creating a **Purposeful Vision**:

4.7.1. Identifying the Issue, Problem or Paradox (which builds on Understanding Needs and Setting Goals 4.3.1)

- Synthesizing the understanding of needs or opportunities (that technical systems can address)
- Clarifying the central issues
- Framing the problem to be solved
- Identifying the underlying paradox to be examined

4.7.2. Thinking Creatively and Communicating Possibilities (which builds on and expands creative thinking 2.4.3)

- How to create new ideas and approaches
- New visions of technical systems that meet the needs of customers and society
- Communicating visions for products and enterprises
- Compelling visions for the future

4.7.3. Defining the Solution (which builds on and expands Understanding Needs and Setting Goals 4.3.1)

- The vision for the engineering solution
- Achievable goals for quality performance, budget and schedule
- Consideration of customer and beneficiary
- Consideration of technology options

- Consideration of regulatory, political and competitive forces

4.7.4. Creating New Solution Concepts (which builds on and expands 4.3.2 and 4.3.3)

- Setting requirements and specifications
- The high-level concept for the solution
- Architecture and interfaces
- Alignment with other projects of the enterprise
- Alignment with enterprise strategy, resources and infrastructure

And several topics that lead to **Delivering on the Vision**:

4.7.5. Building and Leading an Organization and Extended Organization (which builds on 4.2.4 and 4.2.5)

- Recruiting key team members with complementary skills
- Start-up of team processes, and technical interchange
- Defining roles, responsibilities and incentives
- Leading group decision-making
- Assessing group progress and performance
- Building the competence of others and succession
- Partnering with external competence

4.7.6. Planning and Managing a Project to Completion (which builds on 4.3.4)

- Plans of action and alternatives to deliver completed projects on time
- Deviation from plan, and re-planning
- Managing human, time, financial and technical resources to meet plan
- Program risk, configuration and documentation
- Program economics and the impact of decisions on them

4.7.7. Exercising Project/Solution Judgment and Critical Reasoning (which builds on 2.3.4 and 2.4.4)

- Making complex technical decisions with uncertain and incomplete information
- Questioning and critically evaluating the decisions of others
- Corroborating inputs from several sources
- Evaluating evidence and identifying the validity of key assumptions
- Understanding alternatives that are proposed by others
- Judging the expected evolution of all solutions in the future

4.7.8. Innovation – the Conception, Design and Introduction of New Goods and Services (which is the leadership of 4.3 and 4.4)

- Designing and introducing new goods and services to the marketplace
- Designing solutions to meet customer and societal needs
- Designing solutions with the appropriate balance of new and existing technology
- Robust, flexible and adaptable products
- Consideration of current and future competition
- Validating the effectiveness of the solution

4.7.9. Invention – the Development of New Devices, Materials or Processes that Enable New Goods and Services (which builds on 4.2.6)

- Science and technology basis and options
- Imagining possibilities
- Inventing a practical device or process that enables a new product or solution
- Adherence to intellectual property regimes

4.7.10. Implementation and Operation – the Creation and Operation of the Goods and Services that will deliver value (which are the leadership of 4.5 and 4.6)

- Leading implementing and operating
- Importance of quality
- Safe operations
- Operations to deliver value to the customer and society

These last three items are in fact the leadership of the core processes of engineering: conceiving, designing, implementing and operating

4.8. Engineering entrepreneurship

Engineering Entrepreneurship includes by reference all of the aspects of Societal and Enterprise Context (4.1 and 4.2), all of the skills of Conceiving, Designing, Implementing and Operating (4.3 – 4.6) and all of the elements of Engineering Leadership (4.7).

In addition, there are the entrepreneurship specific skills:

4.8.1. Company Founding, Formulation, Leadership and Organization

- Creating the corporate entity and financial infrastructure
- Team of supporting partners (bank, lawyer, accounting, etc.)
- Consideration of local labor law and practices
- The founding leadership team
- The initial organization
- The board of the company
- Advisors to the company

4.8.2. Business Plan Development

- A need in the world that you will fill
- A technology that can become a product
- A team that can develop the product

- Plan for development
- Uses of capital
- Liquidity strategy

4.8.3. Company Capitalization and Finances

- Capital needed, and timing of need (to reach next major milestone)
- Investors as sources of capital
- Alternative sources of capital (government, etc.)
- Structure of investment (terms, price, etc.)
- Financial analysis for investors
- Management of finances
- Expenditures against intermediate milestones of progress

4.8.4. Innovative Product Marketing

- Size of potential market
- Competitive analyses
- Penetration of market
- Product positioning
- Relationships with customers
- Product pricing
- Sales initiation
- Distribution to customers

4.8.5. Conceiving Products and Services around New Technologies

- New technologies available
- Assessing the readiness of technology
- Assessing the ability of your enterprise to innovate based on the technology

- Assessing the product impact of the technology
- Accessing the technologies through partnerships, licenses, etc. A team to productize the technology

4.8.6. The Innovation System, Networks, Infrastructure and Services

- Relationships for enterprise success
- Mentoring of the enterprise leadership
- Supporting financial services
- Investor networks
- Suppliers

4.8.7. Building the Team and Initiating Engineering Processes (conceiving, designing, implementing and operating)

- Hiring the right skill mix
- Technical process startup
- Building an engineering culture
- Establishing enterprise processes

4.8.8. Managing Intellectual Property

- IP landscape for your product or technology
- IP strategy – offensive and defensive
- Filing patents and provisional patents
- IP legal support
- Entrepreneurial opportunities that can be addressed by technology
- Technologies that can create new products and systems
- Entrepreneurial finance and organization

Estas memorias se terminaron de imprimir en la ciudad de Bogotá, D.C. en el mes de diciembre de 2015
en los talleres de Opciones Gráficas Editores Ltda. Somos responsables con el ambiente

